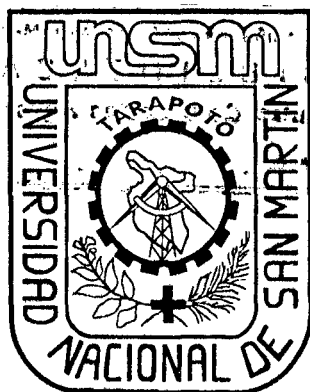


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE AGROSILVO PASTORIL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**“EFECTO DE SOMBRA Y FRECUENCIA DE RIEGO EN LA  
ETAPA DE ACLIMATACIÓN DE PLANTAS CLONADAS DE  
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CATURRA EN FASE  
DE VIVERO, MORALES - SAN MARTÍN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**MANUEL ABAD RETETE**

**TARAPOTO - PERÚ**

**2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE AGROSILVO PASTORIL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**“EFECTO DE SOMBRA Y FRECUENCIA DE RIEGO EN LA  
ETAPA DE ACLIMATACIÓN DE PLANTAS CLONADAS DE  
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CATURRA EN FASE DE  
VIVERO, MORALES - SAN MARTIN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
MANUEL ABAD RETETE**

**TARAPOTO – PERÚ  
2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE AGROSILVO PASTORIL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

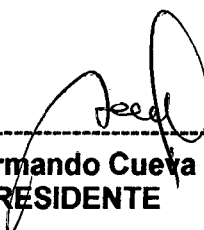
**TESIS**

**“EFECTO DE SOMBRA Y FRECUENCIA DE RIEGO EN LA  
ETAPA DE ACLIMATACIÓN DE PLANTAS CLONADAS DE  
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CATURRA EN FASE DE  
VIVERO, MORALES - SAN MARTIN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
MANUEL ABAD RETETE**

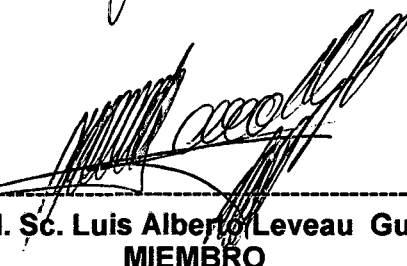
**COMITÉ DE TESIS**



-----  
Ing. M. Sc. Armando Cueva Benavides  
**PRESIDENTE**



-----  
Ing. Segundo D. Maldonado Vasquez  
**SECRETARIO**



-----  
Ing. M. Sc. Luis Alberto Leveau Guerra  
**MIEMBRO**



-----  
Ing. M. Sc. Javier Ormeño Luna  
**ASESOR**

## DEDICATORIA

A DIOS quien ha sido mi luz, mi fortaleza y compañía a lo largo de mis estudios, quien me enseñó a superar muchos obstáculos que la vida nos presenta y que gracias a ello aprendí a ser cada día fuerte, A mis padres MANUEL ABAD VÁSQUEZ y ANATALIA RETETE MERINO, por todo el apoyo brindado y sobre todo al inmenso amor y comprensión que me han dado en todo este tiempo, de los cuales me siento agradecido y muy feliz porque no hubiera podido tener mejores padres de los que ya tengo y que en mi vida representan mi inspiración y motivo para seguir adelante, Y a mis Hermanos JOSE SAMUEL Y MARIA HILDA y en especial para mi hermana MARIA AMELIA a quien los quiero muchísimo y con quienes compartí la mejor etapa de mi vida, mi niñez. Gracias por el cariño, la compañía y el apoyo brindado.

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ Al Programa Nacional de Innovación para la Productividad - PNICP por financiar el presente trabajo de investigación enmarcado en el proyecto de investigación: “Innovación Tecnológica para la clonación de plantas matrices de café (*coffea arabica* L.) con alta productividad y tolerancia a roya en la región de San Martín”- contrato 193-Fincyt-IA-2013. A la Dra. Velia Maruxie Yufra Picardo, unidad de supervisión de proyectos PNICP.
- ❖ Al Ing. M. Sc Luis Arévalo López Gerente Regional del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (**IIAP**), por brindar las facilidades y apoyo para la ejecución del presente trabajo.
- ❖ Al Ingeniero **Geomar Vallejos Torres** coordinador general del proyecto “Innovación tecnológica para la clonación de plantas matrices de café (*coffea arabica*) con alta productividad y tolerancia a roya en la región de San Martín” por darme la oportunidad de realizar la tesis de pregrado.
- ❖ Al Ing. M. Sc. **Javier Ormeño Luna (UNSM)** e Ing. M. Sc. **Diana Ayala Montejo (IIAP)** por el asesoramiento brindado en el trabajo de investigación, gracias por compartir sus conocimientos, tiempo, dedicación, paciencia y su amistad, para poder lograr este objetivo.
- ❖ A mi amigo **José Rolando Villalobos Tantalean** y amigos del IIAP **Lorena Romero Chaves** y a **Jhon Patrick Vallejos Orbe** gracias por su amistad sincera y su compañía agradable.

## INDICE

### Página

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
<b>III. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</b>	<b>3</b>
3.1 Antecedentes del cultivo de café	3
3.1.1 Origen y distribución del cafeto	3
3.1.2 Taxonomía de café	3
3.1.3 Morfología	4
3.2 Cultivares recomendadas	6
3.2.1 Variedad caturra	6
3.3 Conducción del semillero y vivero de café	7
3.3.1 Selección de semilla	7
3.3.2 Semilleros	7
3.3.3 Vivero	8
3.4 Factores edafoclimáticos del cultivo	9
3.4.1 Clima	9
3.4.2 Suelo	10
3.5 Aclimatación	11
3.5.1 Aclimatación de plantas clónales	12
3.5.2 Factores que influyen en la aclimatación	13
3.6 Riego en vivero	22
3.6.1 El agua y las plantas	23
3.6.2 Importancia de la irrigación	23
3.6.3 Contenido de humedad	24
3.6.4 Frecuencia de riego	24
3.6.5 Sistemas de riego en viveros	25
3.7 Sombra en vivero	27
3.8 Sustratos	27
3.8.1 Funciones de los sustratos	27
3.9 Trabajos realizados en aclimatación	28
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>30</b>
4.1 Ubicación del campo experimental	30

4.1.1	Ubicación política	30
4.1.2	Ubicación geográfica	30
4.2	Conducción del experimento	30
4.2.1	Plantas enraizadas	31
4.2.2	Sustrato para el llenado de bolsas	32
4.2.3	Riego en la etapa de aclimatación	32
4.2.4	Preparación de cajas	33
4.3	Diseño y características de experimento	33
4.3.1	Diseño experimental	33
4.3.2	Componentes en estudio	34
4.3.3	Tratamientos	34
4.3.4	Análisis estadístico	35
4.4	Conducción del trabajo de investigación	36
4.4.1	Desmalezado	36
4.4.2	Monitoreo	36
4.5	Parámetros a evaluar	37
4.5.1	Factores climáticos en evaluación	37
4.5.2	Evaluaciones del cultivo	37
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>39</b>
5.1	Análisis de variables meteorológicas	39
5.2	Evaluaciones del cultivo	42
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>60</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1: Descripción de los tratamientos aplicados	35
Cuadro 2: Análisis de varianza	35
Cuadro 3: Análisis de la varianza para el crecimiento en longitud	42
Cuadro 4: Análisis de la varianza para el número de hojas principales	45
Cuadro 5: Análisis de la varianza para el número de hojas axilares	48

## INDICE DE IMAGENES

	<b>Página</b>
Imagen 1: Distribuido por tratamiento	36
Imagen 2: Plantas agrupadas	36
Imagen 3: FRI (A): Hojas quemadas por la interacción, FRII (B): Hojas sin quemaduras y FRIII (C): hojas con quemaduras y clorosis generadas por la irradiación	46
Imagen 4: SSI (A): Plantas con buena calidad de hojas y longitud. SSII (B): Plantas con hojas cloróticas (amarillentas).	46



## INDICE DE GRAFICOS

### Página

Gráfico 1:	Factores y niveles de estudio	33
Gráfico 2:	Interacción entre temperatura media y la humedad relativa para el porcentaje de sombra con 80%	39
Gráfico 3:	Interacción entre temperatura media y la humedad relativa para el porcentaje de sombra con 50%	40
Gráfico 4:	Interacción entre temperatura media y la humedad relativa a plena luz	41
Gráfico 5:	Comportamiento de intensidad de luz en los tres niveles de sombra	41
Gráfico 6:	Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor secundario de sombra en crecimiento de longitud (mm)	43
Gráfico 7:	Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor frecuencia de riego en crecimiento de longitud (mm)	43
Gráfico 8:	Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el crecimiento de longitud (mm)	44
Gráfico 9:	Interacción de la secuencia de riego (FR) entre la secuencia de sombra (SS) para el crecimiento de longitud (mm)	44
Gráfico 10:	Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor frecuencia de sombra para el número de hojas principales	45
Gráfico 11:	Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor frecuencia de riego para el número de hojas principales	47
Gráfico 12:	Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el número de hojas principales	47
Gráfico 13:	Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el número de hojas principales	48
Gráfico 14:	Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor secuencia de sombra para el número de hojas axilares	49
Gráfico 15:	Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor frecuencia de riego para el número de hojas axilares	49
Gráfico 16:	Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el número de hojas axilares	50
Gráfico 17:	Interacción entre la secuencia de riego (FR) y la frecuencia de sombra (SS) para el número de hojas axilares	50

## I. INTRODUCCIÓN

El café es el principal producto agrícola de exportación en el país, en el año 2013 el Perú exportó 5'600,000 quintales (qq), generando un ingreso de 1,400 millones de dólares a la economía nacional. Nuestro país es uno de los líderes en la producción de cafés especiales (producto que se distingue de los demás cafés por tener mejores cualidades físicas y organolépticas), con una creciente demanda en el mercado internacional. (Ministerio Nacional de Agricultura, 2013).

En la selva alta del Perú este cultivo es una importante fuente de empleo, pues genera cincuenta millones setecientos mil jornales sólo en la actividad agrícola. Los puestos de trabajo por transporte y servicios, pueden superar los sesenta mil jornales.

El café es un cultivo que genera economía en un país, pero los caficultores tienen grandes pérdidas en la producción de plántones producidos a partir de semillas cuando son instalados a campos definitivos, de esta manera la presente investigación pretende optimizar el proceso de aclimatación para evitar el estrés de las plantas durante su etapa de establecimiento, considerando una secuencia de sombra y frecuencia de riego como factores indispensables durante la etapa de vivero. Bajo este contexto el estudio de investigación se realizó en el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), cuyos objetivos consistieron en determinar y evaluar las respuestas de las plántulas de café en la aclimatación frente a dos factores, frecuencia de riego y sombra en fase de vivero.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Desarrollar tecnología en el manejo de plantas clonadas de café (*Coffea arabica* L.) en vivero bajo condiciones controladas de secuencias de sombras y frecuencias de riegos, durante la etapa de aclimatación.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de la secuencia de sombra sobre el crecimiento de brotes clónales de cafeto bajo condiciones de vivero.
- Determinar la frecuencia de riego tecnificado etapa de aclimatación, en plantas clonadas de café en la fase de vivero.

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Antecedentes del cultivo de café

##### 3.1.1. Origen y distribución geográfica del cafeto

El cultivo de café es uno de los productos tradicionales de mayor relevancia en la Selva Alta del Perú y desde hace dos década está impulsando el desarrollo económico y social en la región San Martín, por el área cultivada (100,042 Has) y la calidad del producto obtenido para mercado de exportación. A nivel nacional se cultivan unas 430,000 Has y San Martín representa el 23.2% de la producción nacional. (MINAGRI, 2014)

##### 3.1.2. Taxonomía de café

Mora (2008), clasifica al cultivo de café de la siguiente forma:

<b>Reino</b>	: Plantae
<b>División</b>	: Magnoliophyta
<b>Clase</b>	: Angiosperma
<b>Orden</b>	: Rubiales
<b>Familia</b>	: Rubiaceae
<b>Género</b>	: <i>Coffea</i>
<b>Especie</b>	: <i>arabica</i> .

**Nombre científico:** *Coffea arabica*.

### **3.1.3. Morfología**

Marín (2012), menciona que el café es un arbusto que puede alcanzar entre dos a seis metros de altura, es de hoja perenne y comienza a producir flores a partir del primer año.

#### **a. Raíces**

La raíz central es pivotante, su longitud en una planta adulta es de 50 a 60 cm aproximadamente, las raíces secundarias (de sostén y laterales) se originan a partir de la pivotante; de las secundarias, generalmente se desarrollan los pelos absorbentes que, en un alto porcentaje (80-90%), se encuentran en los primeros 30 cm del suelo, con un radio de 2 a 2.5 m a partir de la base del tronco. Los pelos absorbentes son muy importantes porque le permiten a la planta la absorción de agua y nutrientes del suelo (Desco, 2012).

#### **b. Tallo**

Marín (2012), dice que es leñoso, erecto y de longitud diversa de acuerdo a la variedad. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: el tallo, las ramas y las hojas. En una planta adulta, la parte inferior es cilíndrica, mientras que la parte superior (ápice) es cuadrangular y verde, con esquinas redondas y salidas. Presenta la particularidad de producir tres tipos de yemas que originan diferentes partes de la planta: el tallo, bandolas y hojas (Alvarado y Rojas, 2007).

### **c. Hojas**

La lámina de la hoja mide de 12 a 24 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho, variando su forma de elíptica a lanceolada (Desco, 2012).

### **d. Inflorescencia**

La floración del café es marcadamente estacional, generalmente coincide con la presencia de las primeras lluvias (Marín, 2012). La inflorescencia del café es una cima de eje muy corto que posee flores pequeñas, de color blanco y de olor fragante en número variado. Las especies *canephora* y *liberica* son especies alógamas y los arábigos son autógamos; en los arábigos el 94% de la polinización es autopolinización y sólo en un 6% puede ocurrir polinización cruzada (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, 2010).

### **e. Fruto**

Después de la fecundación, el óvulo se transforma en fruto y sus dos óvulos en semillas. El fruto maduro es una drupa elipsoidal en los cultivares comerciales, ligeramente aplanada, cuyos tres ejes principales miden 12 y 18 mm de longitud, 8 y 14 mm de ancho y 7 y 10 mm de espesor. El fruto es de superficie lisa y brillante y de pulpa delgada; está constituido de tres partes diferentes: el epicarpio o epidermis; el mesocarpio o pulpa y el endosperma o semilla. Cuando madura puede ser de color rojo o amarillo, dependiendo del cultivar (Alvarado y Rojas, 2007). El fruto es una baya drupácea con dos almendras con sus respectivos embriones, que constituyen la semilla (Marín, 2012).

#### **f. Semilla**

Ésta consta de dos núcleos, cada uno de ellos con un grano de café con forma plana-convexa, el grano de café está encerrado en un casco semirrígido transparente, de aspecto apergaminado, que corresponde a la pared del núcleo (Fundesyram, 2010).

### **3.2. Cultivares recomendadas**

Benito (2011), dice que por las características agro climáticas del país, se han introducido numerosas variedades, las que después de un estudio de adaptabilidad y productividad vienen siendo difundidas en las zonas cafetaleras y dentro las variedades más sobresalientes tenemos: Typica, Bourbon rojo, Caturra rojo, Pache, y Catimor. Esta última, presenta la ventaja de reunir a la vez las características de resistencia a la Roya Amarilla y alta productividad. En concordancia con las tendencias actuales, algunos grupos de agricultores peruanos se han especializado y trabajan en café orgánico y otros cafés especiales, reconocidos por su perfil y características peculiares como su calidad de taza, acidez y sabor balanceado que se ajusta muy bien a los microclimas, la temperatura y la altitud (1,400 – 1,800 msnm) (Agrobanco, 2007).

#### **3.2.1. Variedad caturra**

Variedad encontrada en Minas Gerais, Brasil, posiblemente originada como una mutación de un gen dominante del café Bourbon, el caturra se caracteriza por ser de porte bajo, tiene entrenudos cortos, tronco grueso, es poco ramificado, y ramas laterales abundantes, cortas, con ramificación

secundaria, lo que da a la planta un aspecto vigoroso y compacto. La variedad Caturra presenta hojas grandes, anchas y oscuras, los frutos son también de mayor tamaño que otras variedades, el sistema radical está muy bien desarrollado y es de mayor extensión y densidad, Se puede sembrar a una densidad de 5.000 plantas por hectárea, aunque en condiciones muy favorables para el cultivo, la densidad puede ser un poco mayor. (Heredia, 2011). Necesita más sol y poda sanitaria (para el cuidado) más intensiva que las variedades del país, y es mucho mejor en su rendimiento. Las plantaciones tienen un ciclo de vida corto, después de aproximadamente 20 años tienen que sustituirse (Augstburger, 2000).

### **3.3. Conducción del semillero y vivero de café**

#### **3.3.1. Selección de semilla**

Ordoñez (200), indica que la selección de semilla se hace manualmente para lo cual se necesita personal bien entrenado, ya que se requiere destreza y conocimiento para eliminar granos que no reúnan las características adecuadas, rechazando los que presenten los siguientes: (grano caracol, grano triangulo, grano monstruo, grano pequeño y semilla brocada o lastimada).

#### **3.3.2. Semilleros**

El semillero es el medio utilizado para la siembra de la semilla y donde esta permanecerá entre 50 y 75 días previos al trasplante, el sustrato para la preparación del semillero debe ser perfectamente de arena del rio, la que



producirá un buen drenaje y disminuirá los riegos de ataques de enfermedades producidas por hongos (Ordoñez, 2000).

### **3.3.3. Vivero**

Ciriaco (2012), dice que es el lugar donde se producen los plantones, hasta que estos logren de 4 a 6 pares de hojas en un tiempo de 4 a 6 meses hasta llevar a campo definitivo.

El transplante al vivero, es una operación que consiste en trasladar las plántulas que provienen del semillero y sembrarlas en las fundas plásticas al mismo nivel o profundidad que estaban en el semillero. Debe mantenerse siempre una adecuada humedad del sustrato, es recomendable efectuar tres o cuatro riegos por semana dependiendo de las condiciones ambientales del lugar; así mismo la fertilización, el control de malezas y plagas en vivero, son importantes y necesarias para obtener plántulas de buen desarrollo vegetativo. Las plantas deben permanecer en el vivero por un tiempo de 150 a 180 días y luego se trasladan al campo para su establecimiento en el terreno definitivo, que debe coincidir con la época lluviosa (Ciriaco, 2012).

#### **A. Estructura de vivero**

##### **Tinglado**

Ciriaco (2012), menciona que se construye un tinglado de 1.8 a 2 m de altura, y se colocan postes perimetrales cada 3 a 5 m, utilizar malla raschel, materiales de la zona (hojas de palmera, entre otros), que permiten regular la entrada de luz con un 40% de sombra y 60% de luz. El

propósito de la construcción del tñglado es proteger a las plántulas de los rayos solares en los primeros meses, ya que estas son susceptibles. Una vez que los plantones cuenten con 5 a 6 pares de hojas, retirar paulatinamente el tñglado para adaptarlos a las condiciones de campo definitivo. También se realiza cobertizos proporcionando un sombreamiento aproximando del 80 %, con protecciones laterales (Duicela *et al.*, 2006).

## **B. Manejo del vivero**

Ciriaco (2012), dice que se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Riego por la mañana y tarde manteniendo una adecuada humedad.
- Deshierbo mensualmente.
- Realizar la aplicación de abono foliar mensualmente si es necesario.
- Realizar el monitoreo de plagas y enfermedades constantemente y efectuar el control oportuno.
- Manejo de sombra: al inicio dejar ingresar un 60% de luz, a partir del cuarto mes dejar expuestos los plantones al 100% de luz hasta su traslado a campo definitivo.

## **3.4. Factores edafoclimaticos del cultivo**

### **3.4.1. Clima**

Mora (2008), expresa que para el cultivo del café, al igual que para cualquier otro, existen características climáticas y edáficas bien definidas, las cuales en cuanto más se aproximen a las condiciones ideales requeridas por el cultivo, en sus diferentes fases fenológicas, mayores posibilidades tendrá de

expresar todo su potencial genético, lo que se traducirá en mayor producción, que es lo que en última instancia le interesa al caficultor. Los rangos de temperatura media anual señalados como óptimos para esta especie, están entre 17 °C y 23°C, o aún en rangos más estrechos, ubicándose entre 18.3°C y 21,1°C. Se cita además, otro margen de oscilación de temperatura más amplio que va desde los 13°C hasta los 27°C. La temperatura óptima oscila entre 19°C y 21°C con extremos de 17°C y 23°. (Altamirano, 2012). La precipitación anual entre 1600mm y 1800mm/año es ideal para *Coffea arabica* y que el mínimo absoluto para esta especie se ubica cerca de 1000 mm. Precipitaciones superiores a los 3000 mm deben considerarse como inapropiadas para el cultivo económico del café. Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un período seco bien definido. Favorecen el cultivo del cafeto, puesto que con ello se logra un buen desarrollo radical y el crecimiento de las ramas que han brotado durante el período lluvioso; mientras Se ha determinado que la humedad del aire no es un factor determinante en el cultivo del café. No obstante, se señala que un promedio de humedad relativa, de 70 a 95 %, es recomendable para *Coffea arabica* (Mora, 2008).

#### **3.4.2. Suelo**

Ciriaco (2012), dice que en la Selva del Perú existen cinco órdenes de suelos, entre ellos predominan dos: Inceptisol y Alfisol, estos suelos son ideales para producir un café de excelente calidad.

El cafeto, por ser una planta rústica, se adapta con facilidad a condiciones topográficas que son desfavorables para otros cultivos.

Los suelos planos o ligeramente ondulados son los más aptos para el cultivo del café, por su mayor profundidad, capacidad de retención de agua y nutrimentos y, por ser aptos para la mecanización. No obstante, esta última ventaja carece de importancia para la caficultura en Centroamérica, puesto que en general, las labores de cultivo se efectúan manualmente. Los tipos de suelo adecuados para el cultivo de café son de textura franca, con buena fertilidad, drenaje y aireación; de pH ácido a ligeramente ácido, buena profundidad efectiva y adecuado contenido de materia orgánica (Mora, 2008).

### **3.5. Aclimatación**

Aclimatación y aclimatización son términos que describen el proceso de adaptación de un organismo a un cambio ambiental. Aclimatación es el proceso regulado por la naturaleza y aclimatización el regulado por el hombre. La aclimatización de plantas *in vitro* a las condiciones naturales, es un paso crítico para muchas especies y requiere tiempo e instalaciones caras que restringen la aplicación comercial de los procesos de micropropagación. Estas plantas muestran un rápido marchitamiento cuando se transfieren a condiciones de invernadero, por lo tanto debe mantenerse una humedad relativa alta en el nuevo ambiente, para no dañar los mecanismos que mantienen el volumen de agua en la planta (Fila *et al.*, 1998).

Numerosos esfuerzos han sido dirigidos a optimizar las condiciones de la micropropagación de plantas *in vitro*, pero los procesos de aclimatación en suelo no han sido suficientemente estudiados. Para la aclimatación de las plantas procedentes del cultivo en su fase de multiplicación *in vitro*, se puede

utilizar varios procedimientos: uno de ellos es el enraizamiento *in vitro*, presentado la ventaja que cuando se está en un proceso de enraizamiento, al mismo tiempo los brotes se adaptan a las condiciones ambientales en las cuales crecerán y se desarrollarán las plantas, sin embargo, con este método existe una probabilidad muy alta de que el número de plántulas sobrevivientes sea bajo, ya que éstas aún no han desarrollado raíces para realizar sus funciones de absorción y transporte nutrimental.

La respuesta a la aclimatación que manifiestan las plantas provenientes de *in vitro*, depende: del estado de crecimiento y desarrollo, estado nutricional de las plántulas, la sanidad, la protección a estrés abiótico y el sustrato en el que se induzca la aclimatación.

### **3.5.1. Aclimatación de plantas clónales**

Duicela y Corral (2006), manifiesta que el proceso de aclimatación de clones se inicia cuando han transcurrido alrededor de 60 días desde la “siembra” de los esquejes y consiste en destapar la cámara de enraizamiento (retirar el plástico), para dar, progresivamente, una hora diaria de luminosidad. Esto significa: 1 hora el primer día, 2 horas el segundo día y así progresivamente hasta completar 8 horas al octavo día. A partir del noveno día, se mantiene la cámara de enraizamiento, debajo del cobertizo.

### 3.5.2. Factores que influyen en la aclimatación

Brainerd *et al.*, (1981) demuestran que la anatomía de la hoja es influenciada por la luz y la humedad. Las hojas desarrolladas a altas intensidades de luz tienen células en empalizada en mayor cantidad y más grandes que aquellas en condiciones de sombra, situación que se asemeja al de las plantas *in vitro*. Las hojas desarrolladas en baja humedad relativa tienen espacios intercelulares pequeños. Las plantas crecidas en alta humedad relativa tienen un pobre desarrollo de cera epicuticular, y altas tasas de transpiración en aire seco.

En las plántulas *in vitro*, la respuesta a la fotosíntesis en condiciones de luz, es similar a la de las plantas de sombra, caracterizadas por tasas fotosintéticas y de compensación de luz bajas y puntos de saturación también bajos. La anatomía de las hojas es de acuerdo con las características fisiológicas mencionadas, ya que el efecto de la luz en el desarrollo del mesófilo, principalmente en el parénquima en empalizada, es ciertamente el factor determinante anatómicamente. Sin embargo, las deficiencias en las estructuras de los cloroplastos (desarrollo de grana), el nivel bioquímico y la baja en la actividad de la Rubisco, también contribuyen a limitar la actividad fotosintética. (Amancio *et al.*, 1999).

#### A. Temperatura

Los efectos de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo de un cultivo pueden ser de diversa índole, ya sea sobre el crecimiento y conductancia foliar (Barros *et al.*, 1997). En el caso del cafeto, en la

literatura revisada no se encontró diferenciación entre cada una de las fases fenológicas del cultivo. De manera general se plantea que promedios por debajo de 16 °C y por encima de 34 °C no son adecuadas para el cultivo. El óptimo está comprendido entre 18-21 °C Rodríguez (2002).

### **Efecto de la temperatura sobre el crecimiento del cafeto**

Se conocen pocos estudios del efecto de la temperatura sobre el crecimiento del cafeto. Rodríguez (2002) encontró que las plantas de cafetos crecieron mejor a temperaturas día/noche de 30/23 °C, cuando aparecieron las primeras ramas laterales, y de 23/17 °C, aproximadamente un año más tarde. Una temperatura constante día/noche de 30 °C, no solo indujo el crecimiento sino que provoco amarillamiento en las hojas, así como tumoraciones en la base del tallo.

A temperaturas extremas de 38 °C y 13°C, la raíz de plántulas de vivero, el crecimiento ceso, mientras que al exponer el sistema radical a temperaturas de 13 °C durante un periodo de 2 horas tuvo un efecto ligeramente atenuante sobre el crecimiento, mientras que a 38 °C durante este mismo periodo el efecto fue marcadamente negativo (Rodríguez, 2002).

Rodríguez (2002), menciona que la degeneración de los tejidos del tallo, inducido por las altas temperaturas del suelo, puede deberse a lesiones circulares que se producen de una forma no uniforme alrededor del tallo, al nivel del suelo. Rodríguez (2002), expuso plántulas de *C. arabica* L.,

crecidas en solución nutritiva, a diferentes temperaturas, por un periodo de 2 horas diarias; se observó que a 55 y 65 °C las plantas murieron después de seis días. A los 35 °C se observó una reducción del crecimiento foliar, y a 45 °C las hojas llegaron a la senescencia y cayeron. A 25 °C, el P absorbido fue transportado hacia las ramas, mientras que se detectó una acumulación de este elemento en las hojas durante 30 días a 45 °C. La temperatura de la raíz también afectó la asimilación de CO<sub>2</sub>. A 45 °C durante cinco días, el transporte de asimilados desde las hojas fue detenido y después de 15 días la capacidad asimilatoria de las hojas fue afectada irreversiblemente.

Clowes *et al.*, (1983) afirma que las temperaturas medias mensuales por debajo de 15-16 °C parecen tener un efecto sobre los procesos de crecimiento, mientras que las altas temperaturas aparentemente afectan la fotosíntesis.

## **B. Humedad relativa**

Huertas (2008), menciona que la humedad relativa es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo vivero. En el interior del vivero. El aire es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por transpiración desde el suelo y por transpiración de las plantas. La transpiración depende del déficit de saturación entre los estomas y el aire. Cuando los déficits de saturación son demasiados altos o demasiados bajos influyen en la fisiología del cultivo y en el desarrollo.



El efecto que durante la noche provoca la evapotranspiración tiene poca importancia debido a que la transpiración queda reducida por causa del cierre de los estomas y la evaporación del suelo es insignificante porque el déficit de presión de vapor es pequeño. La humedad relativa varía inversamente con la temperatura, para un contenido absoluto de vapor de agua constante en el aire. Conforme la temperatura decrece en el invernadero y vivero la humedad relativa aumenta y puede alcanzar valores próximos a la saturación (Huertas, 2008).

Durante el día por efecto de la calefacción solar, la humedad absoluta del aire aumenta puesto que la apertura de los estomas hace aumentar la transpiración. Al mismo tiempo la humedad relativa puede disminuir con el aumento de la temperatura y en muchos casos puede alcanzar valores muy bajos.

Diferentes ensayos nos muestran que el área efectiva ocupada por las gotas es del 70% cuando la condensación es abundante y 25% cuando es ligera. Si el aire exterior tiene un nivel elevado de humedad relativa, la ventilación debe complementarse con la calefacción artificial. El aumento de la temperatura del aire de un grado genera una caída próxima al 5% en la humedad relativa (Huertas, 2008). El riego por aspersión del suelo, de las plantas y de los materiales de cubierta, consiguiendo aumentar la humedad y disminuir la temperatura.

## **C. Luz solar**

Según Whatley (1982), indica que la magnitud de la fotosíntesis realizada por una planta está influenciada, en primera instancia, por la luz incidente. La luz, y sus efectos sobre la fotosíntesis, se deben analizar principalmente en términos de intensidad y calidad. La influencia de la luz solar se manifiesta en los vegetales por el efecto de dos variables: a) la duración (fotoperiodo) y b) la intensidad (irradiancia), y que de estas la que más influencia tiene sobre el comportamiento del café es la intensidad luminosa, no quedan dudas de la importancia y por qué los estudios acerca de la influencia de la radiación solar en el cafeto han constituido uno de los objetos de análisis más difundidos en los países productores de este cultivo; sin embargo los resultados que se han obtenido al respecto no son consistentes y varían de una zona a otra y es obvio que en experimentos de este tipo, la ecología y factores edafoclimáticos tienen una marcada influencia (Rodríguez, 2002).

### **Disponibilidad de la radiación solar en el dosel de las plantas**

Rodríguez (2002), menciona que la radiación proveniente del sol se divide en dos áreas espectrales. La clasificación principal divide esta radiación en dos tipos fundamentales, la radiación de onda larga con una longitud de onda superior a 3 000 nm y la radiación de onda corta, por debajo de 3 000 nm. Prácticamente, toda la radiación proveniente del sol es de onda corta. Esta a su vez se puede dividir en radiación cercana al infrarrojo, con longitud de onda entre 700 y 3000 nm, la radiación visible (400-700 nm) y la radiación ultravioleta (por debajo de 400 nm).

La radiación visible, también conocida como “luz”, es la única radiación usada en los procesos fotoquímicos, y se denota como radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Roben, 1996). Para el caso específico del cafeto (*Coffea arabica* L.), debido a las disimiles condiciones de iluminación en que se cultiva y su efecto en los diferentes procesos fisiológicos de la planta, se ha estudiado el balance energético de la radiación solar. Se demostró que en un cafetal a plena exposición solar la radiación neta la constituye el 74 % de la radiación global (Jaramillo, 1994).

#### **Efecto de los niveles de irradiación sobre el crecimiento del cafeto.**

Comenzando por el efecto que ejerce la irradiación sobre altura del cafeto, los mayores reportados por Morales *et al.*, (1986) bajo las condiciones de nuestro país apuntan hacia un mayor crecimiento bajo sombra moderada, y Rodríguez (2002) citan algunos resultados, en condiciones de Brasil, en los que se encontró que a plena exposición solar podía obtenerse un crecimiento similar.

Por otra parte refiere que en condiciones de campo, la mayor altura se obtiene bajo sombra moderada; este resultado puede atribuirse al efecto fototropico que ejerce la sombra sobre el eje artotropico, aunque es posible el efecto de factores adicionales, relacionadas con la sombra, entiéndase factores tales como la humedad del suelo, la temperatura del aire, el tipo de suelo, etc.

Carvalho *et al.*, (1999) encontraron que la altura de cafetos plantados al sol disminuyó entre un 20 y 30 % respecto a una variante de 80% de sombra. Resultados similares fueron encontrados por estos mismos autores para el área foliar. Cuando se analizan los estudios referentes a este último indicador (área foliar), los resultados demuestran una tendencia al crecimiento estacional, y responden a factores, tanto internos (fenología de la planta) como externos (factores del clima) principalmente las precipitaciones y la temperatura (Maestri y Barros, 1981), esta última, asociada con los niveles de irradiancia.

En cuanto a la traslocación de asimilación de la planta, se ha demostrado que la proporción de materia seca traslocada hacia las raíces, como medida de la relación raíz/tallo, disminuye ligeramente con los niveles de sombra, aunque el nivel de sombra óptimo puede variar con la edad, ya que la relación raíz/tallo en pleno sol incrementan con la edad de la planta (Rodríguez, 2002).

Otros autores, bajo condiciones controladas, han estudiado diferentes variables relacionadas con la morfología y anatomía foliar de esta especie. Por ejemplo, Benetti *et al.*, (1992) estudiaron la influencia de diferentes niveles de irradiancia sobre la anatomía foliar de cinco cultivares de cafetos (*Coffea arabica* L.). El número de estomas decreció linealmente con los niveles de luz en todos los cultivares, en un 20 y 40 % en las plantas cultivadas a 50 y 30 % de luz solar total respectivamente, mientras que las dimensiones de los estomas (largo y ancho) no fueron

significativamente alterados por los niveles de luz. El grosor de los parénquimas de empalizada y lagunar aumentó con el incremento del nivel de irradiancia: las plantas cultivadas a 50 y 30 % de luz solar presentaron reducciones de 6,5 y 13 % respectivamente, de la espesura total del limbo foliar.

De estos resultados se infiere que el cafeto tiene la capacidad de aclimatarse a niveles contrastes de luz. Al respecto, Rodríguez (2002) plantean que los cafetos poseen una alta capacidad de aclimatación con respecto al nivel de irradiancia en que se desarrolla durante la etapa juvenil debido a que las plantas de sombra desarrollan hojas más finas y de mayor área, lo cual le permite mayor eficiencia en la captura de la luz disponible. Las plantas de sol presentan hojas más gruesas, lo cual presumiblemente conduce a un gran volumen interno para la difusión de CO<sub>2</sub> y mayor volumen celular para sostener el aparato fotosintético.

En cuanto a las características anatómicas, las hojas de las plantas crecidas a pleno sol fueron 11% más gruesas que las crecidas bajo sombra, este efecto fue más notable en las plantas sometidas a dosis mayores de N. El incremento en el grosor de la hoja se debió fundamentalmente a una mayor cantidad de células en los parénquimas esponjosos y de empalizada y a la presencia de una segunda capa de células en este último. Estos autores, de acuerdo con los resultados obtenidos, concluyen que el efecto puede considerarse una planta facultativa de sombra, la cual exhibe rasgos de aclimatación al sol y que

esta alta capacidad de transición sombra-sol está altamente relacionada con la nutrición nitrogenada.

Por otra parte, se ha observado que el tamaño de las hojas incrementan con sombra moderada, mientras que se reduce a niveles de muy baja radiación; la sombra, también incrementa el área foliar específica, siendo más pronunciado este aumento con menos de 50% de sombra. La razón de área foliar incrementa con el nivel de sombra, aparentemente debido a un incremento en el área foliar específica, mientras que la masa foliar específica, la cual determina la translocación de asimilados hacia las hojas, también varían significativamente con el nivel de sombra (Rodríguez, 2002).

Pese a todos estos resultados, se puede plantear que para llegar a una conclusión acertada acerca del efecto de la sombra sobre el crecimiento del cafeto se debe ser muy cuidadosos ya que muchos de los resultados expuestos anteriormente han sido realizado con sombra artificial, y se conoce que existen otros factores como la humedad y características físicas del suelo, temperatura del aire, etc. los cuales varían con el incremento de la luz (Rodríguez, 2002).

Aunque usualmente la apertura de los estomas ocurre en presencia de luz no se ha podido precisar si esto es debido a un efecto directo de este factor o si ocurre porque la fotosíntesis disminuye la concentración de  $\text{CO}_2$  interno. Dos fotorreceptores se creen podrían estar involucrados uno en el

rojo y rojo lejano y el otro en el azul y ultravioleta. Un experimento clave realizado por Rodríguez (2002), demostró que a niveles bajos de radiación, la concentración de CO<sub>2</sub> sería el principal factor regulador de la apertura estomática; a niveles elevados de radiación, la respuesta directa a la luz puede sobre compensar el requerimiento de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis y provocar un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> intracelular. La luz azul (longitud de onda entre 430 y 460 nm) fue cerca de 10 veces más eficaz en provocar la apertura estomática en comparación a la luz roja (630 a 680 nm). Inhibidores de la fotosíntesis solo el efecto de la luz roja desaparece. En el caso de la luz azul, esta contribuirá parcialmente a través de la fotosíntesis, pero también tiene un efecto directo en determinar la absorción de iones K<sup>+</sup> por parte de las células guardianas, lo que forma parte del mecanismo de apertura estomática.

### **3.6. Riego en vivero**

Napoleón y Cruz (2005), el riego es importante, principalmente durante la época seca, ya que durante la estación lluviosa, el agua lluvia cubre un alto porcentaje o casi toda la necesidad. El riego se debe proporcionar en forma racional, pero suficiente para que la humedad persista por un buen tiempo, sin que llegue al encharcamiento o cause daño a las plantas.

En la época seca, se recomienda efectuar un riego diario, en algunos casos donde el sustrato posee un alto contenido de materia orgánica y además se le incorpora cierto porcentaje de cocopeat, materiales que tienen una alta

capacidad de retener humedad, condiciones climáticas favorables, como zonas altas, con temperaturas frescas.

### **3.6.1. El agua y las plantas**

Como todos los seres vivos, los vegetales sólo pueden sobrevivir y desarrollarse en presencia de agua. Las plantas necesitan un constante flujo de agua indispensable para funciones como el de transporte de sustancias, sostén de los tejidos, intercambio gaseoso para la fotosíntesis y respiración o refrigeración.

En las plantas, el órgano responsable de la captación del agua es el sistema radicular. De sus características morfológicas y distribución a lo largo del perfil del suelo depende en primera instancia la localización física del agua (Fuentelsaz, 2009).

### **3.6.2. Importancia de la irrigación**

Enciso (2005), menciona que la necesidad de riego surge a partir del incremento de la insuficiencia alimentaria dado por el crecimiento de la población y la dificultad del cultivo en áreas semi –áridas o secas.

Además de que el riego permite la accesibilidad del cultivo donde no es viable por las características climáticas, también permite intensificar la producción en áreas de cultivo. Por ejemplo el 17% de las tierras cultivables del mundo, se obtiene más del 50% de toda la producción agrícola.



### **3.6.3. Contenido de humedad**

El contenido de humedad de una planta se visualiza en la representación de la absorción y la transpiración y esto se refleja en un balance integrado, el cual está en un estado de cambio durante el día. La diferencia entre la absorción de agua y la pérdida de humedad, crea tensión hídrica, la cual es una condición fisiológica normal durante las horas del día; si se permite que esta tensión alcance niveles extremos durante largos periodos, la tasa de crecimiento de la planta se reduce y eventualmente ésta muere. En los viveros forestales que producen en contenedor, la tensión hídrica de las plantas se mantiene a niveles bajos durante la etapa de cultivo, mediante el uso de riego para estimular el crecimiento (Enciso, 2005).

### **3.6.4. Frecuencia de riego**

La frecuencia y la cantidad de riego están dadas por las necesidades de cada especie, el tipo de contenedor, sustrato utilizado y la combinación de estos. Los riegos se deben aplicar en cantidad suficiente para saturar el sustrato y permitir una pequeña lixiviación (10% aproximadamente) de modo que arrastre las sales sobrantes de la solución del medio de cultivo

Diversos autores señalan que el agua de riego se puede manejar según la fase de desarrollo de las plantas (Escobar, 2007):

- Fase de establecimiento: El sustrato debe humedecerse al colocarse en el área de cultivo y debe manejarse sólo para compensar el agua perdida por evaporación en la parte superior del contenedor que es la principal pérdida en esta fase, por lo que se suelen dar riegos cortos y frecuentes.

Los principales errores en esta etapa es que se suele mantener un riego con alta frecuencia (hasta dos veces al día) con baja intensidad, por más tiempo del requerido.

- Fase de crecimiento rápido: El consumo de agua en este periodo es superior al que podría deducirse de la aplicación de las fórmulas de evapotranspiración potencial. El cálculo de las necesidades de riego, debe considerar la necesidad de los lavados entre fases de fertilización. Durante este fase se debiera utilizar un tamaño de gota mayor al de la fase anterior y los tiempos de riego deben ser más prolongados para dejar al sustrato en capacidad de contenedor.
- Fase de endurecimiento: La reducción de la frecuencia y cantidad de riego en esta etapa del manejo de las plantas es muy importante para detener su crecimiento, endurecerlas o forzar la aparición de yemas. En esta fase hay que tener cuidado con la falta de uniformidad del riego. Además de la disminución del riego como herramienta para endurecer las plantas se utiliza la disminución brusca del nitrógeno en el fertirriego, así como la reducción de las fertilizaciones a la mitad hasta desaparecer al final del periodo de endurecimiento.

#### **3.6.5. Sistemas de riego en viveros**

Montserrat (2005), la selección de uno u otro tipo de riego podrá depender de varios factores relacionados con el cultivo, entre ellos, la ubicación donde se va a desarrollar el cultivo, bien en invernadero o en el exterior, en el suelo o

elevado en mesa de cultivo, la especie cultivada, el grado de sectorización necesario, la movilidad precisada en la programación del cultivo, del coste económico, la uniformidad deseada, la disponibilidad de menor aprovechamiento del agua por la planta, y consecuentemente la eficiencia del sistema de riego.

#### **A. Microaspersión**

Sistema apropiado para el riego de grandes contenedores de árboles y arbustos de gran tamaño en viveros o en el exterior, que consigue con un solo emisor, humedecer toda la superficie del sustrato. Existen muchos modelos con diferentes ángulos de salida, 90, 180, 220, y 360 grados así como la opción autocomponente y antidrenante en algunos de ellos (Montserrat, 2005).

#### **B. Nebulización**

Sistema apropiado para el riego de plántulas, semilleros y plantas en maceta de pequeño formato, que precisen de un fino tamaño de gota, bien debido a la fragilidad de la misma planta, o por el escaso volumen de sustrato con el que cuenta, o también en aquellas situaciones en las que la anchura de riego no deba superar los 2 m (riego individual por mesa). La uniformidad en estos casos suele ser inferior al 90% (Montserrat, 2005).

### **3.7. Sombra en vivero**

Ordoñez (2000), dice que por lo general los viveros se hacen bajo una sombra construida en forma de ramada o con maya negra equilibrando la temperatura, la cual se prepara por medio de madera, alambre y maya, esto asegura un microclima óptimo para que las plantas puedan tener buen desarrollo, además en muchos casos se cubre los costados con maya color negro para proteger el vivero de los daños ocasionados por el viento. A medida el vivero va creciendo las necesidades de sombra se vuelven menores, por tal motivo es necesario efectuar regulación de la sombra de la maya para que haya menor entrada de luz y la planta pueda alcanzar mejor desarrollo y adaptación al ambiente.

### **3.8. Sustratos**

Gómez (2010), dice que un sustrato es todo material distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñado, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta.

#### **3.8.1. Funciones de los sustratos**

Gómez (2010), menciona cuatro funciones con las que debe cumplir un medio para mantener un buen crecimiento de las plantas.

- Proporcionar u anclaje y soporte para la planta
- Retener humedad de modo que esté disponible para la planta

- Permitir el intercambio de gases entre las raíces y la atmosfera
- Servir como depósito para los nutrientes de la planta.

### 3.9. Trabajos realizados en aclimatación en banano, eucalipto y café

Según Carrillo, (2004), en Guatemala realizo la evaluación de diferentes sustratos en la aclimatación de vitro –plantas de banano, en la fase de vivero, bajo condiciones de sombreamiento, los siguientes resultados es que un compuesto en un 50% de estiércol bovino, 25% de arena de rio y 25% de fibra de palma africana, permitió reducir el tiempo de aclimatación en vivero hasta una semana, al determinar que existieron diferentes estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos evaluados para la variable diámetro del pseudotallo, con una media de 2.86 cm a los 5 semanas después del transplante en vivero; de igual forma para las variables altura de la plántula y número de días para alcanzar sus hojas verdaderas, con este mismo sustrato se alcanzaron las medias más favorables con valores de 26.78 cm y 35.66 días respectivamente.

Mientras Martínez *et al.*, (2005), realizo en México el trabajo de investigación de aclimatación de plantas obtenidas *in vitro* de *Eucalyptus urophylla* S. y *Eucalyptus grandis*, que median de 3 a 7 cm. de longitud y poseían como mínimo 3 raíces, se colocaron en bolsas con suelo arcilloso arenoso como sustrato y fueron ubicadas en un vivero que proporcionaba 70 % de sombra. El riego fue por aspersión durante 15 días, se fertilizaron a los 25 días de iniciada la aclimatación y se realizaron aspersiones con oxiclورو de cobre cada 7 días. A los dos meses de haber sido trasplantadas a suelo, las plantas

alcanzaron aproximadamente 20 cm de longitud y se consideraron preparadas para plantación. Los porcentajes de adaptación logrados fueron: *Eucalyptus urophylla* 85% y *Eucalyptus grandis* 75%.

Según Etienne, H. (1997), realizó un protocolo en aclimatación en plantas de café in vitro ya que era apropiado para plantas clonadas conseguidas mediante microinjerto o mediante embriogénesis somática. La técnica fue desarrollada para una red de ensayos y conviene para aclimatar hasta 30.000 plantas producidas en condiciones de investigación. El protocolo incluye 3 pasos: preparación de la planta (12-24 h), aclimatación (tres meses), vivero (cinco a seis meses).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODO**

### **4.1. Ubicación del área experimental**

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el vivero del instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) que se encuentra ubicado en el distrito de Morales-Provincia y departamento de San Martín.

#### **4.1.1. Ubicación política**

Distrito	:	Morales
Provincia	:	San Martín
Departamento	:	San Martín

#### **4.1.2. Ubicación geográfica**

Longitud Oeste	:	76° 22'
Latitud Sur	:	6° 28'
Altitud	:	330 m.s.n.m.m
Zona de vida	:	Bosque seco tropical (bs-T)

### **4.2. Conducción del experimento**

El trabajo de investigación duro 68 días desde el 14/03/2015 donde que se instaló y se realizó la primera evaluación hasta el 24/04/2015 que se realizó la última evaluación y listas para llevar a campo definitivo. Así como se le explica a continuación.

- La frecuencia de riego 1 consistió en regar 6 veces/día en los horarios de las 8: 00 am, 10:00 am, 12: md, 2:00 pm, 4:00 pm y 6:00 pm, durante un periodo de un minuto por cada riego, la cantidad de agua aplicado por planta fue 0.039 l/día, consumiendo un total de 2.65 l de agua por planta durante los 68 días que duro el trabajo de investigación.
- La frecuencia de riego 2 consistió en regar 3 veces/día en los horarios de las 8: 00 am, 12: 00 md y 4: 00 pm, durante un periodo de un minuto por cada riego, la cantidad de agua aplicado por planta fue 0.02 l/día, consumiendo un total de 1.326 l de agua por planta durante los 68 días del trabajo de investigación.
- La frecuencia de riego 3 consistió en regar 2 veces/día en los horarios de las 8: 00 am y 4: 00 pm, durante un periodo de un minuto por cada riego, la cantidad de agua aplicado por planta fue 0.013 l/día consumiendo un total de 0.884 l de agua por planta durante los 68 días del trabajo de investigación.

#### **4.2.1. Plantas enraizadas**

El presente trabajo se realizó con plántulas clonadas obtenidas a partir de plantas matrices seleccionadas a partir de plantas matrices de la variedad caturra que han sido inducidas para obtener brotes que fueron sometidos a un enraizamiento según la metodología (Wellington, 2014).



Las técnicas de inducción aportaron a la producción de brotes vigorosos las cuales fueron cosechadas para su enraizamiento en condiciones controladas, estas condiciones se generaron dentro de un micro túnel donde la Temperatura varía entre 30 °C a 33 °C y la humedad entre 75 a 80%, de esta manera se obtuvo plantas enraizadas para ser aclimatadas en vivero.

#### **4.2.2. Sustrato para el llenado de bolsas**

Para ser repicadas las plantas se utilizó sustratos como tierra negra y arena con proporciones de 4 y 1; la tierra fue zarandeado por un tamiz de 8.71 x 8.98 mm para eliminar los restos vegetales grandes y piedras, luego se procedió a realizar el llenado de bolsas de polietileno de 22.42 cm de largo por 13.48 cm de ancho pulgadas con capacidad de 1 kg y 12 kg por 12 bolsas (Tratamiento).

#### **4.2.3. Riego en la etapa de aclimatación**

Se utilizó un sistema de riego tecnificado, utilizando un tanque de polietileno de 2500 litros de capacidad, ya que el agua se impulsaba con la ayuda de una bomba de 2 HP de fuerza conectado a un sensor electrónico (automático); el agua fue distribuida por una tubería de ½ pulgada desde el tanque hasta el vivero utilizando microaspersores para el riego respectivo en dicho ambiente de aclimatación.

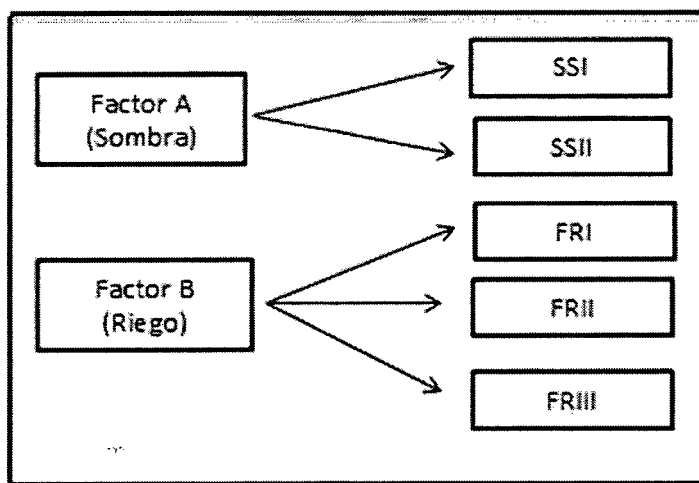
#### 4.2.4. Preparación de cajas

Se confeccionaron 4 cajas, con material hermético (film stretch) y soportes de tubos de pvc; la función de estas estructuras fue evitar el riego durante las diferentes frecuencias según los tratamientos.

### 4.3. Diseño y características de experimento

#### 4.3.1. Diseño experimental

Se aplicó el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 2 x 3 con 6 tratamientos incluyendo el testigo, tres repeticiones; siendo un total de 18 unidades experimentales, cada unidad experimental estaba comprendida por 4 plantas, haciendo un total de 12 plantas por tratamiento y 72 plantas para todo el experimento. El análisis de varianza del presente experimento tuvo los siguientes factores y distribución de tratamientos (grafico 01):



**Grafico 1: Factores y niveles de estudio**

#### 4.3.2. Componentes en estudio

##### A. Secuencia de sombra

**A<sub>1</sub>: Secuencia de sombra uno (SSI):** secuencia de sombra (80% de sombra: 48 días, 50% de sombra: 10 días, luz plena: 10 días).

**A<sub>2</sub>: Secuencia de sombra dos (SSII):** secuencia de sombra (50% de sombra: 58 días, luz plena: 10 días).

##### B. Frecuencia de riego.

**B<sub>1</sub>: Frecuencia de riego uno (FR1):** frecuencia de riego (6 veces/día: 8am, 10 am, 12 md, 2 pm, 4 pm y 6 pm).

**B<sub>2</sub>: Frecuencia de riego dos (FR2):** frecuencia de riego (3 veces/día: 8 am, 12 md y 4 pm)

**B<sub>3</sub>: Frecuencia de riego tres (FF3):** frecuencia de riego testigo (2 veces/día: 8 am y 4pm).

#### 4.3.3. Tratamientos:

Se combinaron las secuencias de sombra y frecuencia de riego para obtener los tratamientos en estudio además se obtuvo dos testigos producto de la combinación. Tal como se muestra en el cuadro 01:

**Cuadro 1: Descripción de los tratamientos aplicados**

Tratamientos	Clave	Descripción
T1	SSI+FR1 =A1B1	Secuencia de sombra 1 más frecuencia de riego 1
T2	SSI + FR2 =A1B2	Secuencia de sombra 1 más frecuencia de riego 2
T3	SSI + FR3 =A1B3	Secuencia de sombra 1 más frecuencia de riego 3 ( <b>Testigo</b> )
T4	SSII + FR1 =A2B1	Secuencia de sombra 2 más frecuencia de riego 1
T5	SSII + FR2 =A2B2	Secuencia de sombra 2 más frecuencia de riego 2
T6	SSII + FR3 =A2B3	Secuencia de sombra 2 más frecuencia de riego 3 ( <b>Testigo</b> )

**4.3.4. Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se empleó la técnica de análisis de varianza (ANVA) a una probabilidad de  $\alpha=0.05$ , con el programa estadístico INFOSTAT.

Las comparaciones de las medias entre los tratamientos fueron analizadas con la prueba de significación de Duncan a una probabilidad  $\alpha=0.05$ .

A continuación se muestra el modelo matemático del diseño planteado:

**Cuadro 2: Análisis de varianza.**

Fuente de variación	Grado de libertad (GL)
Total	Abr-1 : 17
Factor A	A-1 : 1
Factor B	B-1 : 2
Interacción	(A-1)(B-1) : 2
Error	AB(r-1) : 12

#### **4.4. Conducción del trabajo de investigación**

##### **4.4.1. Instalación de los tratamientos**

Se utilizaron 12 plantas enraizadas por tratamiento, agrupadas entre sí con sus respectivas etiquetas (imagen 01); las plantas según el periodo programado en cada etapa de porcentaje de sombra fueron trasladadas manteniendo el orden. Así mismo las plantas limitadas con hilo tipo pabilo (imagen 2) para evitar combinaciones entre plantas.



Imagen 1: Distribuido por tratamiento.



Imagen 2: Plantas agrupadas

##### **4.4.2. Desmalezado**

Se eliminaron manualmente las malezas presentes en el interior de la bolsa de café además en todo el área del vivero, esta actividad se realizó semanalmente o cuando se observó presencia de malezas.

##### **4.4.3. Monitoreo**

Se realizó todos los días para observar el desarrollo de las plantas y/o la presencia de algunas plagas y enfermedades para ser controladas.

## **4.5. Parámetros evaluados**

### **4.5.1. Factores climáticos en evaluación**

Se evaluaron los siguientes parámetros meteorológicos:

- **Temperatura**

Para evaluar este factor se colocaron 3 termohigrometros, distribuidos según el tipo de sombra en el vivero, estas evaluaciones se realizaron durante todo el periodo del trabajo de investigación, registrando los siguientes tipos de temperaturas: mínimas, medias y máximas.

- **Humedad relativa**

Para evaluar este factor se colocaron 3 termohigrometros, distribuidos según el tipo de sombra en el vivero, estas evaluaciones se realizaron durante todo el periodo del trabajo de investigación, registrando los siguientes tipos de humedad relativa: mínimas, medias y máximas.

- **Incidencia de luz**

Para medir la luz se utilizó un luxómetro ( $\text{lux } 10^2$ ), estas evaluaciones se realizaron después de cada riego en cada tipo de sombra (80%, 50% y a plena luz), todo el periodo del trabajo de investigación.

### **4.5.2. Evaluaciones de plántones de café**

- **Crecimiento en longitud de planta (mm)**

Esta variable consistió en medir la altura total de cada planta por tratamiento con la ayuda de un vernier digital, estas evaluaciones se

realizaron al inicio y al final del experimento de tal manera que se calculó el incremento de altura de planta por tratamiento.

- **Número de hojas principales por planta (unidad)**

Se contabilizaron las hojas principales, luego estos datos se sistematizaron para determinar el promedio de hojas por tratamiento. Esta evaluación se realizó al inicio y al final del experimento.

- **Número de hojas axilares por planta (unidad)**

Se contabilizaron las hojas axilares, luego estos datos se sistematizaron para determinar el promedio de hojas por tratamiento. Esta evaluación se realizó al inicio y al final del experimento.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Análisis de variables meteorológicas:

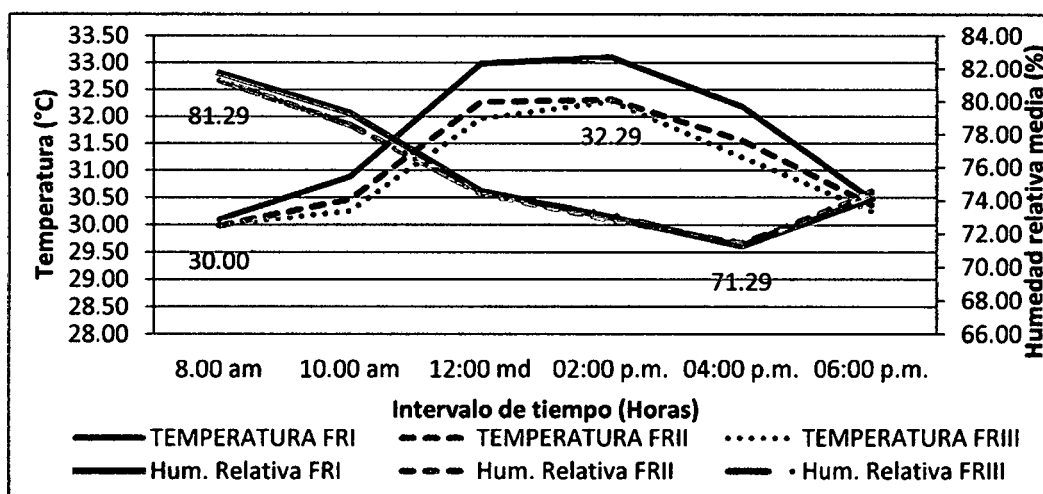
Estas consistieron en evaluar los parámetros meteorológicos: Humedad relativa, temperatura y luz en los tres niveles, a continuación se detalla los resultados:

#### 5.1.1. Temperatura y humedad relativa en los 03 niveles de luz

##### A. Evaluaciones en el nivel de luz con 80% de sombra:

En el grafico 02 las tendencias de las temperaturas son semejantes; sin embargo, para la frecuencia de riego tres (FRIII) se puede observar que los valores fluctúan entre 30 y 32.29 °C.

Las curvas de humedad muestran las mismas tendencias para las tres frecuencias de riego (grafico 02), y los valores fluctúan entre 71.29 % a 81.29 %.



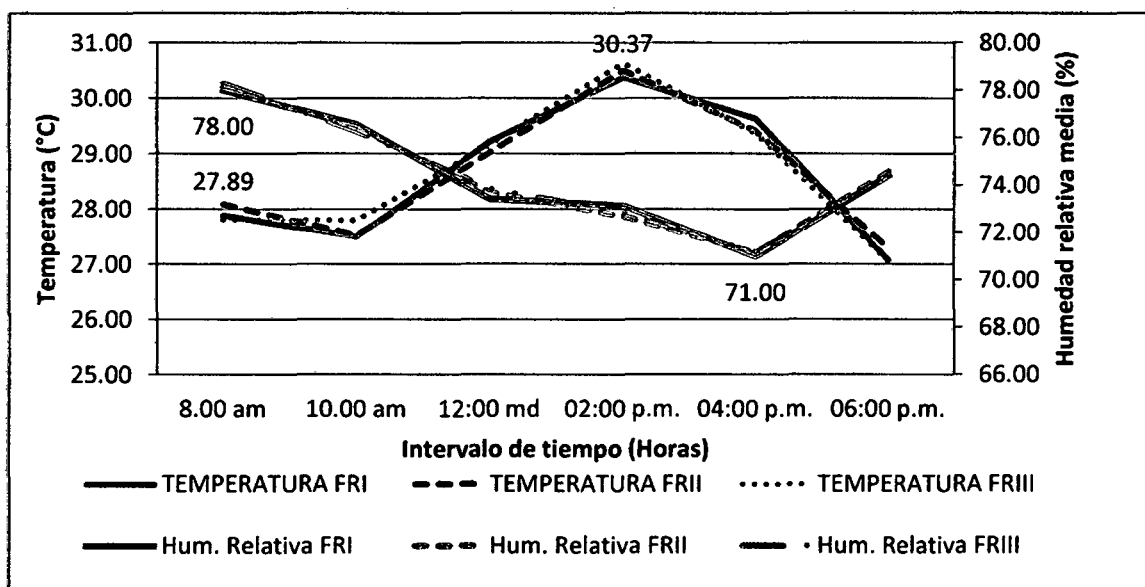
**Gráfico 2: Interacción entre la temperatura media y la humedad relativa para el porcentaje de sombra con 80%.**



## B. Evaluaciones en el nivel de luz con 50% de sombra:

En el grafico 03 las tendencias de la temperaturas son semejantes tanto la frecuencia de riego uno (FRI), frecuencia de riego dos (FRII) y la frecuencia de riego tres (FRIII), así mismo se puede observar que los valores fluctúan entre 27.89 y 30.37 °C

Las curvas de humedad muestran las mismas tendencias para las tres frecuencias de riego (grafico 03), y los valores fluctúan entre 71% a 78%.

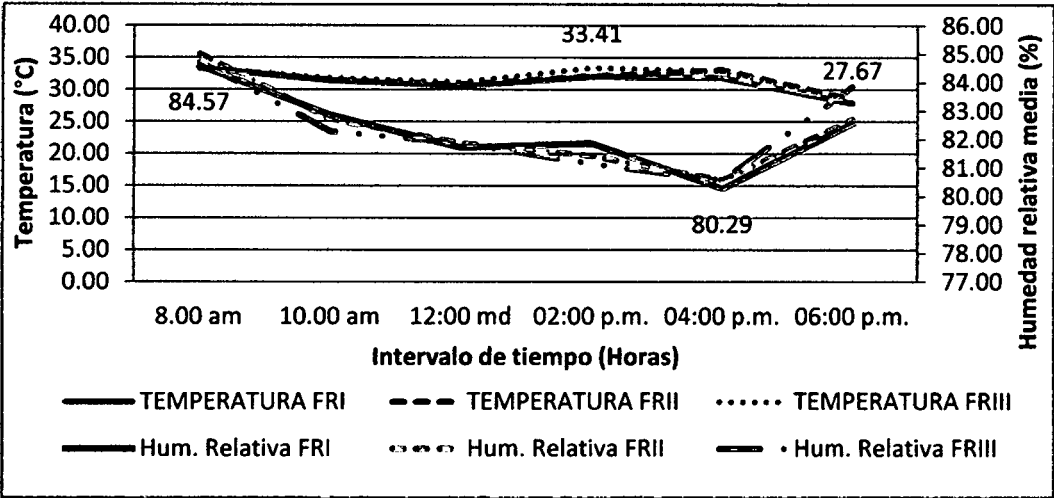


**Gráfico 3: Interacción entre la temperatura media y la humedad relativa para el porcentaje de sombra con 50%.**

## C. Evaluaciones a luz plena

En el grafico 04 las tendencias de la temperaturas son semejantes tanto la frecuencia de riego uno (FRI), frecuencia de riego dos (FRII) y la frecuencia de riego tres (FRIII), observándose que los valores fluctúan entre 27.67 y 33.41 °C

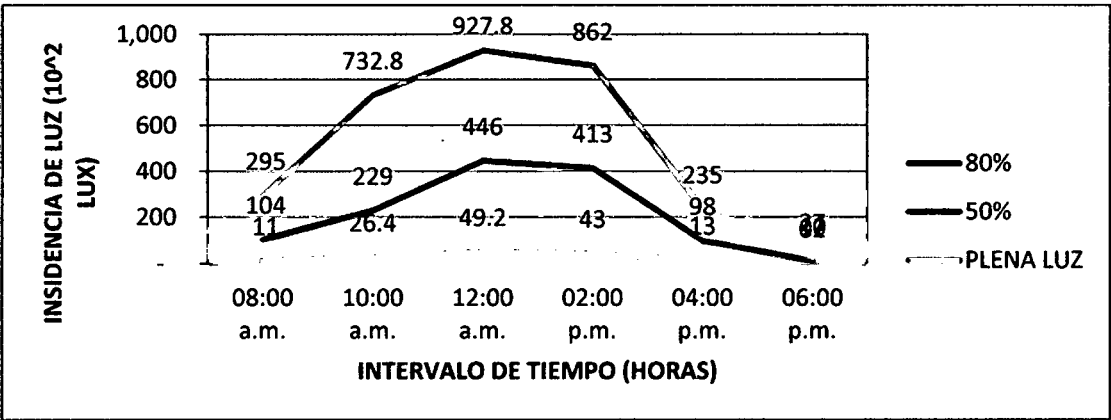
Las curvas de humedad muestran las mismas tendencias para las tres frecuencias de riego (grafico 04), y los valores fluctúan entre 80.29% a 84.57%



**Grafico 4: Interacción entre la temperatura media y la humedad relativa a plena luz.**

### 5.1.2. Intensidad de luz en los tres niveles de sombra

La incidencia de luz al 50% de sombra y a luz plena presenta mayor intensidad en los horarios de 12:00 a 2:00 pm, mientras que al 80% de sombra la intensidad de luz fue constante durante todas las horas evaluadas (grafico 05).



**Grafico 5: Comportamiento de intensidad de luz en los tres niveles de sombra**

## 5.2. Evaluaciones del cultivo

### 5.2.1. Crecimiento en longitud de planta

El análisis de la varianza (cuadro 03) indica que las fuentes de variabilidad para la secuencia de sombra (SS), frecuencia de riego (FR) y la interacción entre la secuencia de sombra y la frecuencia de riego (SS\*FR) tuvieron significancia sobre el crecimiento de la planta.

**Cuadro 3: Análisis de la varianza para el crecimiento en longitud (mm)**

FV (*)	SC(*)	GI(*)	CM(*)	F(*)	p-valor(*)
Secuencia de sombra (SS)	97,73	1	97,73	4,67	0.0445
Frecuencia de riego (FR)	1683,93	2	841,97	40,19	<0.0001 **
SS*FR	825,8	2	412,9	19,71	<0.0001 **
Error	377,08	18	20,95		
Total	2984,54	23			

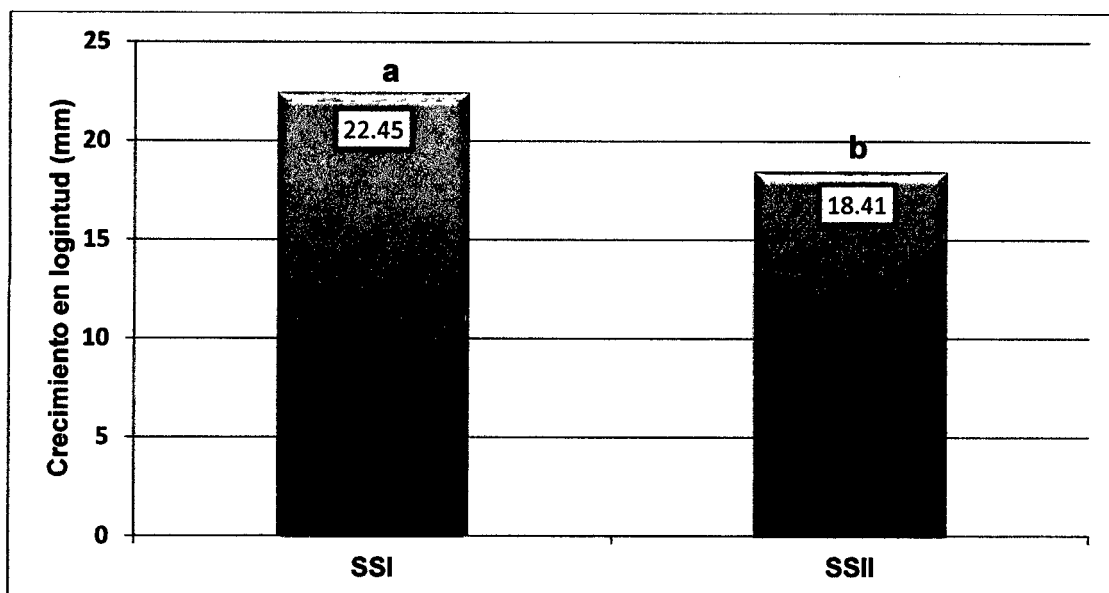
**N: 24**

**R<sup>2</sup>: 87%**

**CV: 22,40%**

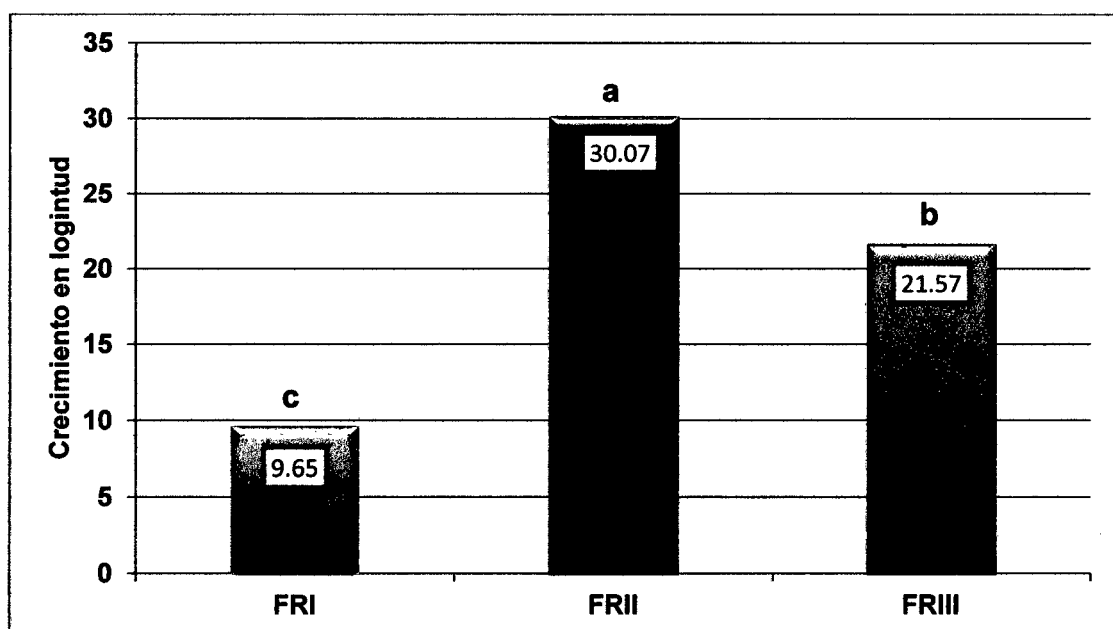
\*FV: Fuente de variación  
\*SC: Suma de cuadrados  
\*GI: Grado de libertad  
\*CM: Cuadrados medios  
\*F: Factor calculado (fisher)  
\*P-Valor

La secuencia de sombra que promovió mayor crecimiento en longitud con 22.45 mm fue la SSI (48 días al 80% de sombra, 10 días al 50% de sombra y 10 días a plena luz) tal como se muestra en la prueba de Duncan (grafico 06).

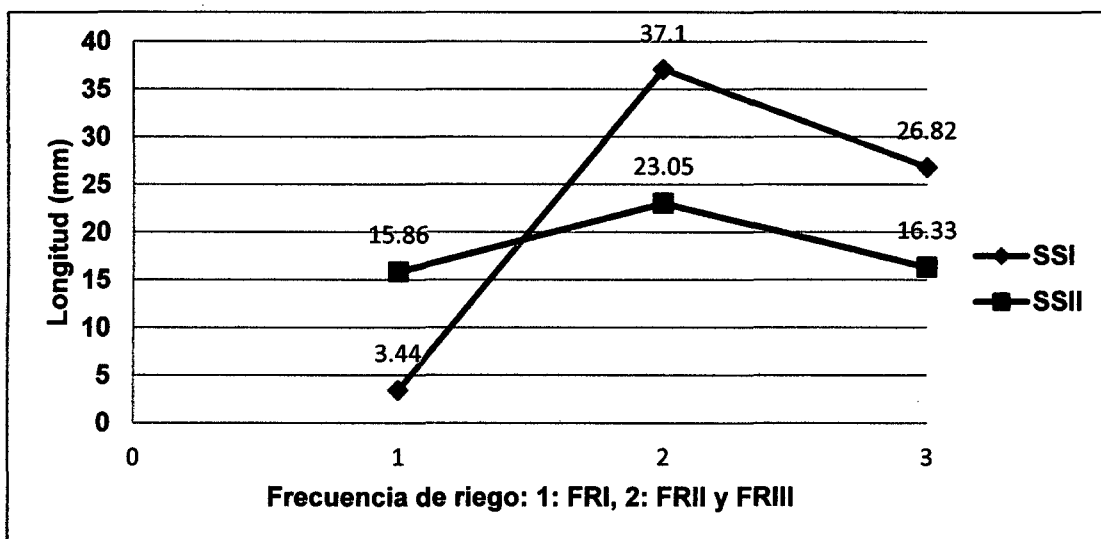


**Grafico 6: Prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ). Para el factor secuencia de sombra en crecimiento de longitud (mm).**

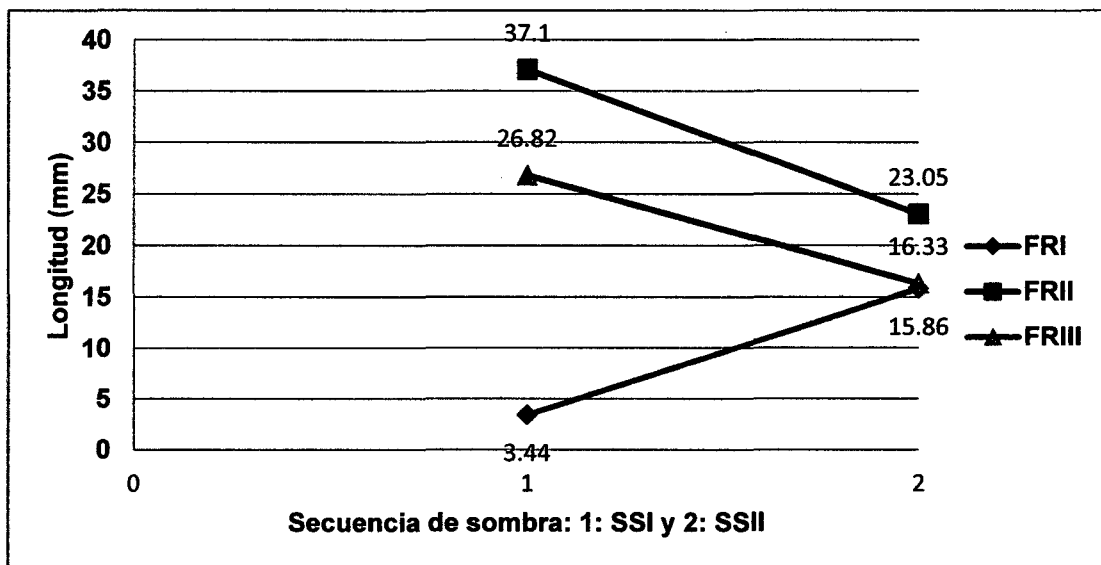
Así mismo, la prueba de Duncan (grafico 07) indica que la frecuencia de riego (FR) que promovió mayor crecimiento en longitud con 30.07 mm fue la FRII (3 Veces/día).



**Grafico 7: Prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ). Para el factor frecuencia de riego en crecimiento de longitud (mm).**



**Grafico 8: Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el crecimiento de longitud (mm).**



**Grafico 9: Interacción de la frecuencia de riego (FR) entre la secuencia de sombra (SS) para el crecimiento de longitud (mm).**

5.2.2. Número de hojas principales de la planta

El análisis de la varianza (cuadro 04) indica que las fuentes de variabilidad para la secuencia de sombra (SS), frecuencia de riego (FR) y la interacción (SS\*FR) no tuvieron significancia sobre el número de hojas principales

Cuadro 4: Análisis de la varianza para el número de hojas principales

FV (*)	SC(*)	GI(*)	CM(*)	F(*)	p-valor(*)
Secuencia de sombra (SS)	1,04	1	1,04	0,34	0,5657
Frecuencia de riego (FR)	3,58	2	1,79	0,59	0,5652
SS*FR	0,58	2	0,29	0,1	0,909
Error	54,75	18	3,04		
Total	59,96	23			

N: 24

R<sup>2</sup>: 9%

CV: 23,13%

- \*FV: Fuente de variación
- \*SC: Suma de cuadrados
- \*GI: Grado de libertad
- \*CM: Cuadrados medios
- \*F: Factor calculado (fisher)
- \*P-Valor

La secuencia de sombra que promovió mayor número de hojas (8) fue la SSII (58 días al 50% de sombra y 10 días a plena luz), tal como se muestra en la prueba de Duncan (grafico 10).

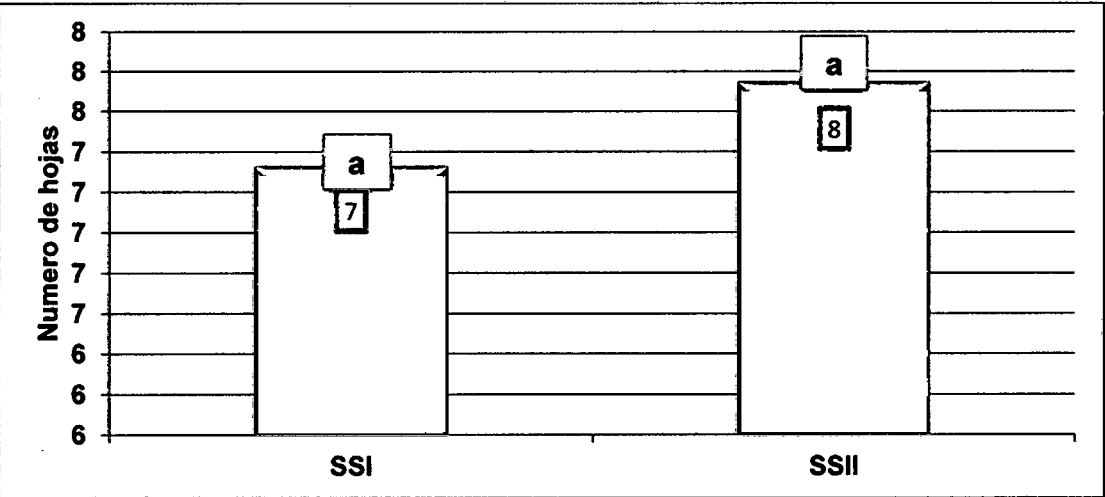
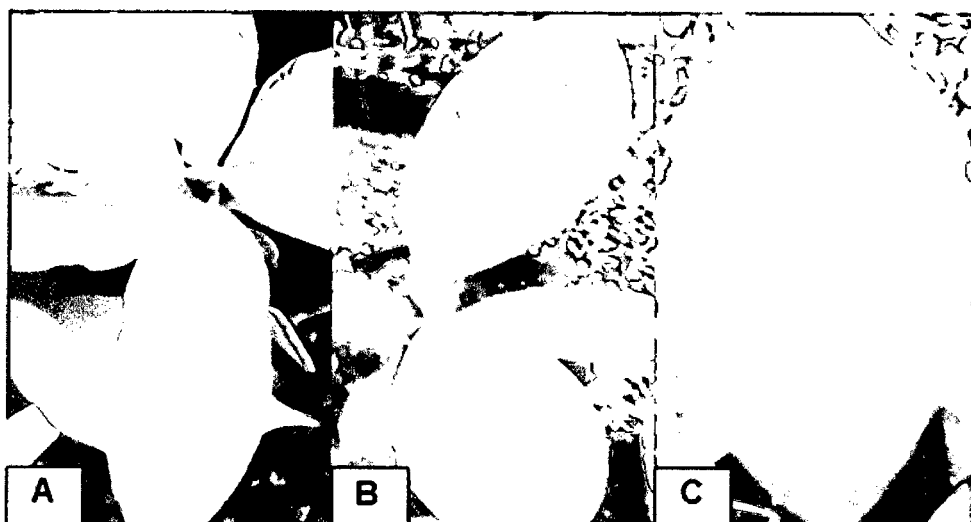


Grafico 10: Prueba de Duncan (p<0.05). Para el factor secuencia de sombra para el número de hojas principales.



**FRI (6veces/día)**

**FRII (3veces/día)**

**FRIII (2veces/día)**

**Imagen 3: FRI (A): Hojas quemadas por la irradiación emitida en las secuencias de sombra, FRII (B): Hojas sin quemaduras y FRIII (C): hojas con quemaduras y clorosis generadas por la irradiación.**

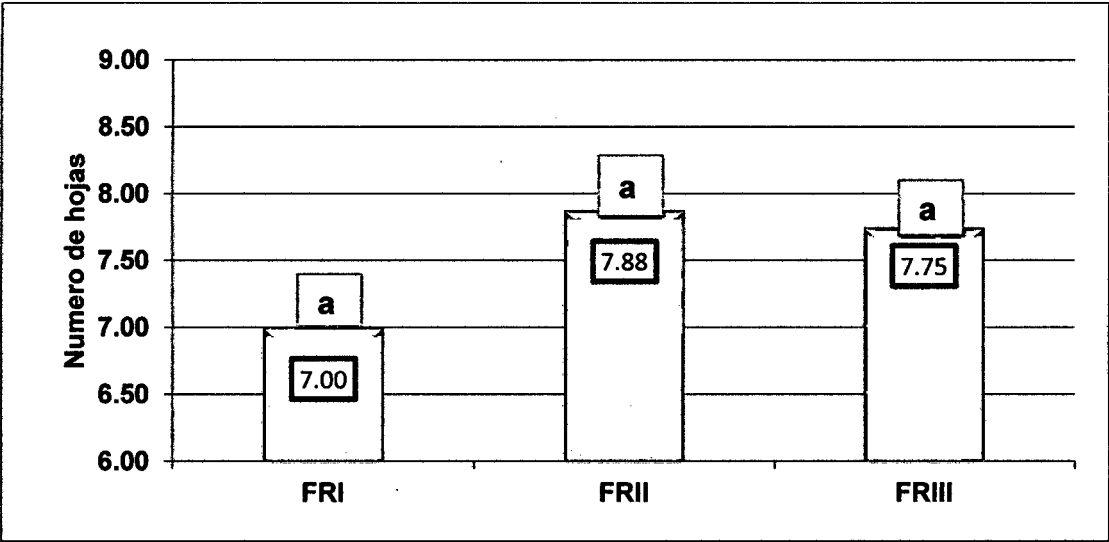


**SSI**

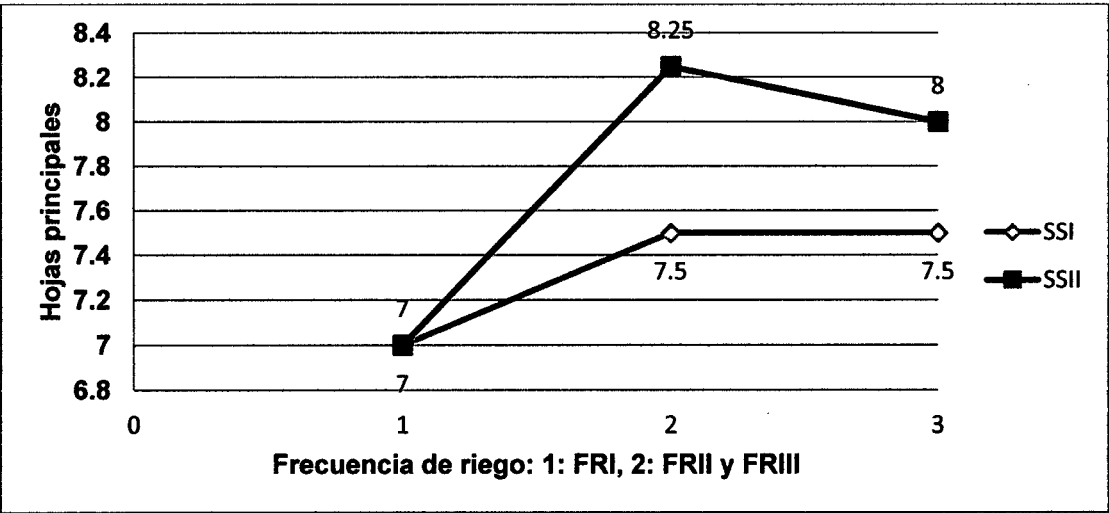
**SSII**

**Imagen 4: SSI (A): Plantas con buena calidad de hojas y longitud. SSII (B): Plantas con hojas cloróticas (amarillentas).**

La prueba de Duncan (grafico 11), muestra que las tres frecuencias de riego (FRI, FRII, FRIII) promovieron semejante número de hojas principales con 7, 7.88 y 7.75 respectivamente

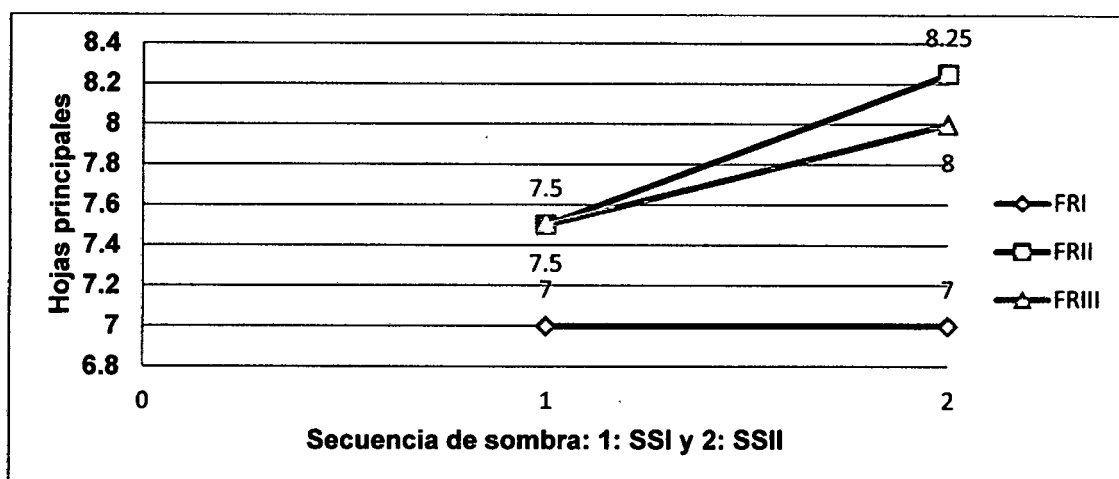


**Grafico 11: Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor frecuencia de riego para el número de hojas principales.**



**Grafico 12: Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el número de hojas principales.**





**Grafico 13: Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el número de hojas principales.**

### 5.2.3. Número de hojas axilares de la planta

El análisis de la varianza (cuadro 05) indica que las fuentes de variabilidad para la secuencia de sombra (SS), frecuencia de riego (FR) y la interacción (SS\*FR) tuvieron un alto grado de significancia sobre el número de hojas axilares.

**Cuadro 5: Análisis de la varianza para el número de hojas axilares**

FV (*)	SC(*)	GI(*)	CM(*)	F(*)	p-valor(*)
Secuencia de sombra (SS)	4,17	1	4,17	25	0.0001
Frecuencia de riego (FR)	20,33	2	10,17	61	<0.0001
SS*FR	44,33	2	22,17	133	<0.0001
Error	3	18	0,17		
Total	71,83	23			

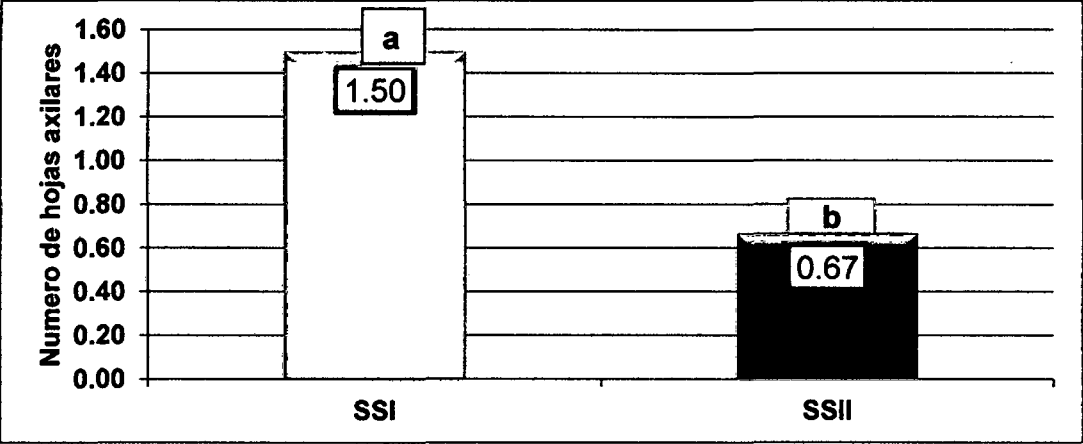
**N: 24**

**R2: 96%**

**CV: 37,68%**

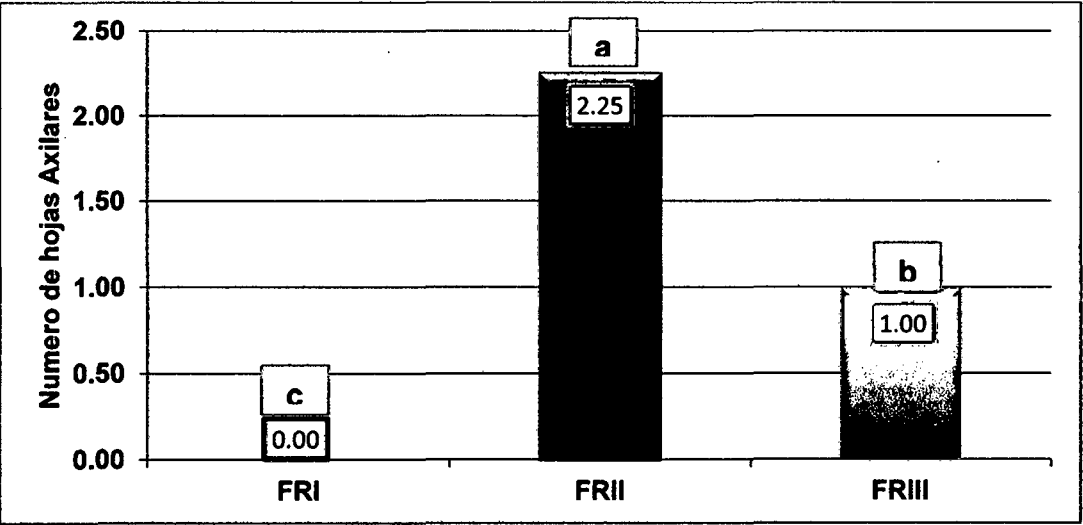
\*FV: Fuente de variación  
 \*SC: Suma de cuadrados  
 \*GI: Grado de libertad  
 \*CM: Cuadrados medios  
 \*F: Factor calculado (fisher)  
 \*P-Valor

La secuencia de sombra que promovió mayor número de hojas axilares con 1.5 fue la SSI (48 días al 80% de sombra, 10 días al 50% de sombra y 10 días a plena luz)

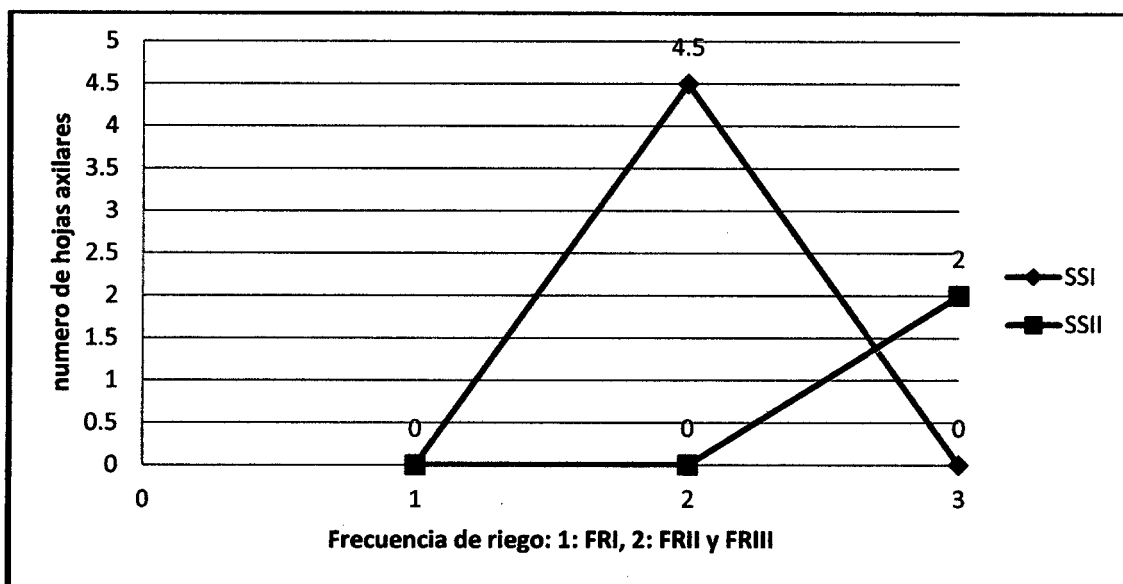


**Grafico 14: Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor secuencia de sombra para el número de hojas axilares.**

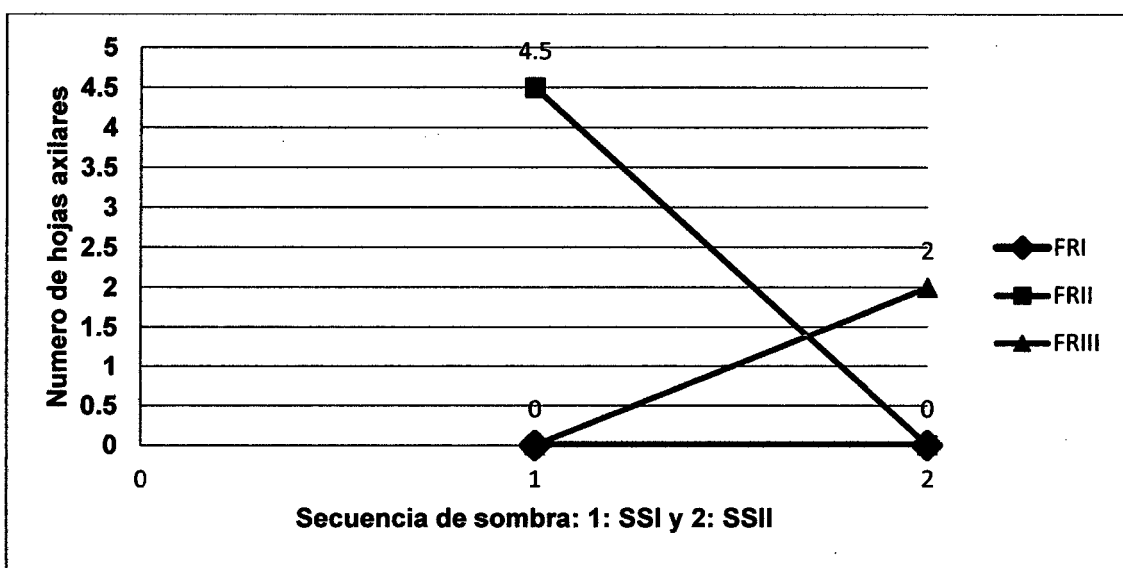
La prueba de Duncan (grafico 19) para el factor frecuencia de riego (FR) muestra mayor número de hojas axilares (2.25 hojas) se dio con la FRII (3 Veces/día).



**Grafico 15: Prueba de Duncan ( $p<0.05$ ). Para el factor frecuencia de riego para el número de hojas axilares.**



**Grafico 16:** Interacción entre la secuencia de sombra (SS) y la frecuencia de riego (FR) para el número de hojas axilares.



**Grafico 17:** Interacción entre frecuencia de riego (FR) con la secuencia de sombra (SS) para el número de hojas axilares.

## **VI. DISCUSIONES**

### **6.1. Análisis de variables meteorológicos**

#### **6.1.1. Temperatura y humedad relativa en los 03 niveles de luz**

##### **A. Evaluaciones en el nivel de luz con 80% de sombra**

En el grafico 02 las tendencias de las temperaturas son semejantes; rangos que se encuentra fuera de las temperaturas extremas según Huertas (2008) quien confirma que las temperaturas extremas de 16 y 34 °C no son adecuadas para el cultivo. Así mismo Shrank (1988) indica que a temperatura mayor a 35 °C generan crecimientos deformes en las plantas.

Las curvas de humedad muestran las mismas tendencias para las tres frecuencias de riego (grafico 02), según Huertas (2008) pertenecen al rango de humedad relativa óptima para el desarrollo del cultivo de café.

Los promedios de temperatura entre las 12:00 md a 2:00 pm muestran los valores más altos, mientras la humedad relativa descende, este comportamiento es normal corroborando lo expuesto por Huertas (2008), quien indica que el aumento de la temperatura genera una caída en la humedad relativa. Por tanto para el tipo de sombra al 80% la mejor frecuencia de riego es la 3 (FRIII). Ya que genera los rangos de humedad óptimos para el desarrollo de café.

## **B. Evaluaciones en el nivel de luz con 50% de sombra:**

En el grafico 03 las tendencias de la temperaturas son semejantes, las temperaturas extremas según Huertas (2008) quien confirma que las temperaturas extremas 16 y 34 °C no son adecuadas para el cultivo. Went (1957) confirma que a temperaturas de 30 °C por el día y por la noche 23 °C las plantas de café crecieron mejor pero con las hojas amarillentas y con tumoraciones en la base del tallo, diferencias de temperaturas que no se muestran en la presente investigación.

Las curvas de humedad muestran las mismas tendencias para las tres frecuencias de riego (grafico 03), según Huertas (2008) pertenecen al rango de humedad relativa para el desarrollo del cultivo de café, por tanto si se encuentra dentro de lo óptimo para nuestro cultivo.

Los promedios de temperatura entre las 12:00 md y las 4:00 pm muestran los valores más altos, mientras la humedad relativa desciende, este comportamiento es normal corroborando lo expuesto por Huertas (2008), quien indica que el aumento de la temperatura genera una caída en la humedad relativa. Por tanto para el tipo de sombra al 50% las tres frecuencias fueran las ideales, ya que genera los rangos de humedad óptimos para el desarrollo de café. Concordando con lo expuesto por Martínez *et al.*, (2007) quien indica que las plantas a este tipo de sombra del 50% alcanzan máximas tasas fotosintéticas.

### **C. Evaluaciones a luz plena:**

En el grafico 04 las tendencias de la temperaturas son semejantes, rangos que se encuentra fuera de las temperaturas extremas según Huertas (2008) quien confirma que las temperaturas extremas menores de 16 y mayores de 34 °C no son adecuadas para el cultivo. Así mismo Clowes *et al.*, (1983) afirma que las temperaturas medias mensuales por debajo de 15-16 °C parecen tener un efecto sobre los procesos de crecimiento, mientras que las altas temperaturas aparentemente afectan la fotosíntesis.

Las curvas de humedad muestran las mismas tendencias para las tres frecuencias de riego (grafico 04), según Huertas (2008) están dentro de los rangos de humedad óptima, ya que a humedades mayores las plantas pueden ser atacadas por plagas y enfermedades.

Los promedios de temperatura a las 8:00 am y 2:00 pm muestran los valores más altos, mientras la humedad relativa desciende, este comportamiento es normal de acuerdo a lo expuesto por Huertas (2008), quien indica que el aumento de la temperatura genera una caída en la humedad relativa.

Por tanto a plena luz las tres frecuencias aplicadas no son las ideales, ya que los rangos de humedad no son óptimos para el desarrollo de café, corroborando el trabajo de Santelices y Navarro (2011) quienes indica que las plantas a luz plena presentan más estrés por la transpiración, sin

embargo no son aptas para llevar a campo definitivo, además Martínez *et al* (2007) confirma que a plena luz las plantas se vuelven cloróticas.

### **6.1.2. Intensidad de luz en los tres niveles de sombra**

La incidencia de luz al 50% de sombra y a luz plena presentan mayor intensidad en los horarios de 12:00 a 2:00 pm, mientras que al 80% de sombra la intensidad de luz fue constante durante todas las horas evaluadas (grafico 05), estas tendencias son semejantes a las evaluaciones obtenidas por Piña M. (2010), resultados que explican el crecimiento en longitud de las plantas de café, ya que con la secuencia de sombra uno (mayor permanencia de plantas bajo sombra) se evidenciaron mayores valores, lo cual concuerda con Piña M. (2010), del mismo modo Whatley (1982) indica que la intensidad (irradiancia) de luz es un factor importante que influye en el comportamiento del crecimiento en longitud del café y reportes por Morales *et al.*, (1986) muestran que bajo las condiciones de climas tropicales se genera un mayor crecimiento bajo sombra moderada, y Carvalho *et al.*, (1999) encontraron que la altura de cafetos plantados a luz plena disminuyo entre un 20 a 30 % respecto a una variante de 80% de sombra.

## **6.2. Evaluaciones de plantas de café**

### **6.2.1. Crecimiento en longitud de planta.**

El análisis de la varianza (cuadro 03) indica que las fuentes de variabilidad para la secuencia de sombra (SS), frecuencia de riego (FR) y la interacción entre la secuencia de sombra y la frecuencia de riego (SS\*FR) tuvieron significancia sobre el crecimiento de la planta. Del mismo modo, se presenta

un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) alto, el cual indica que 87% del crecimiento en longitud de las plantas está influenciado por los factores estudiados; el coeficiente de variabilidad (C.V) indica que los datos tienen una heterogeneidad de 22.4%. Estos resultados están dentro de los rangos establecidos por Calzada (1981).

La prueba de Duncan (grafico 06), muestra resultados con diferencias significativas entre los tratamientos, corroborando por lo expuesto por Santelices y Navarro (2011) quienes indican que el desarrollo de las plantas en esta secuencia de sombra presentan calidad morfológica y un buen crecimiento, ya que se generan condiciones favorables como la luz y la humedad del suelo (Martínez *et al.*, 2007).

La prueba de Duncan (grafico 07) indica que la frecuencia de riego (FR) que promovió mayor crecimiento en longitud con 30.07 mm fue la FRII (3 Veces/día), resultados semejantes obtuvo Alvares (2008), en un trabajo de investigación en el que probó frecuencia de riego en romero obteniendo como resultado que la mejor frecuencia fue de 3 veces por día presentando diferencias significativas entre tratamientos, ya que la altura varía por la disponibilidad de agua, hasta cierto punto, en el que las raíces no pueden captar suficiente oxígeno por el exceso hídrico, y disminuyen su velocidad de crecimiento. Del mismo modo, un buen contenido de agua genera células más alargadas debido a la presión de turgencia (Marschner, 2002).



La interacción nos muestra que la mejor secuencia de sombra es la SSI (48 días al 80% de sombra, 10 días al 50% de sombra y 10 días a plena luz) con la frecuencia de riego dos (3 veces/día) con un crecimiento de 37.1 mm tal como se muestra en los gráficos 8 y 9.

#### **6.2.2. Número de hojas principales de la planta.**

El análisis de la varianza (cuadro 04) indica que las fuentes de variabilidad para la secuencia de sombra (SS), frecuencia de riego (FR) y la interacción (SS\*FR) no tuvieron significancia sobre el número de hojas principales. Del mismo modo, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), indica que solo 9% del número de hojas principales está influenciado por los factores estudiados; el coeficiente de variabilidad (C.V) indica que los datos tienen una heterogeneidad de 23.13%. Estos resultados están dentro de los rangos establecidos por Calzada (1981).

En la prueba de Duncan (grafico 10), nos muestra que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, estos resultados se corroboran con lo expuesto por Santelices y Navarro (2011) quienes indican que a sombra moderada las plantas presentan mayor número de hojas por que mantienen el estrés hídrico, del mismo modo Villar-Salvador (2003) menciona que en esta secuencia de sombra la fotosíntesis es mayor según Taiz y Zeiger (2006), lo cual promueve mayor producción de hojas. Cabe recalcar que las plantas para ser llevadas a campo definitivo deben tener de 4 a 6 pares de hojas Ciriaco (2012). Por tanto es necesario que las plantas pasen por todos

los porcentajes de sombra antes de llegar a luz plena, ya que se obtiene un mejor desarrollo en hojas, resultados semejantes obtuvo Piña (2010).

La prueba de Duncan (grafico 11), muestra que las tres frecuencias de riego (FRI, FRII, FRIII) promovieron semejante número de hojas principales con 7, 7.88 y 7.75 respectivamente, estos resultados muestran que no existe significancia estadística entre los tratamientos para la producción de hojas, corroborando el trabajo de investigación de Alvares (2008) quien indica que cuando se riega tres veces por día, se obtiene mayor número de hojas principales, confirmando que la frecuencia de riego dos es óptima, puesto que no genera estrés hídrico y tiene la mayor producción de hojas. Sin embargo, durante las evaluaciones se observó que las hojas en los tratamientos con la frecuencias de riego uno y tres presentaron quemaduras mientras que la frecuencia de riego dos presento hojas sanas sin quemaduras (imagen 03 y 04). Del mismo modo, estos resultados confirman el análisis de las variables meteorológicas, donde se observó que para cada tipo de sombra la mejor frecuencia fue la dos (FRII).

El análisis de interacción también nos muestra que la mejor secuencia de sombra es la SSII (58 días al 50% de sombra y 10 días a plena luz) con la frecuencia de riego dos (3 veces/día) con un numero de 8.25 hojas principales así como se muestra en el grafico 12 y 13.

### 6.2.3. Número de hojas axilares de la planta

El análisis de la varianza (cuadro 05) indica que las fuentes de variabilidad para la secuencia de sombra (SS), frecuencia de riego (FR) y la interacción (SS\*FR) tuvieron un alto grado de significancia sobre el número de hojas axilares. Del mismo modo se presenta un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) alto, el cual indica que 96% de la producción de hojas axilares en las plantas de café está influenciado por los factores estudiados; el coeficiente de variabilidad (C.V) indica que los datos tienen una heterogeneidad de 37.68%. Estos resultados están dentro de los rangos establecidos por Calzada (1981).

La prueba de Duncan (grafico 14). Nos muestra diferencias significativas entre los tratamientos, estos resultados según Taiz y Zeiger (2006) se debe a los factores climáticos y la humedad del sustrato ya que cuando son óptimas, alcanzan las máximas tasas fotosintéticas promoviendo mayor producción de hojas axilares.

Así mismo, la prueba de Duncan (grafico 15) nos muestra diferencias significativas entre los tratamientos estos resultados se corrobora por lo expuesto por Alvares (2008), quien indica que a una frecuencia de riego de tres veces por día se produce mayor número de hojas axilares, resultados similares fueron encontrados en plantas jóvenes de otras especies en ensayos realizados por Salazar *et al.*, (1999). En los gráficos de interacción se puede observar que la mejor secuencia de sombra es la SSI (48 días al 80% de sombra, 10 días al 50% de sombra y 10 días a plena luz) con la frecuencia de riego dos (3 veces/día) para la producción de hojas axilares (grafico 16 y 17).

## **VII. CONCLUSIONES**

- 7.1.** La mejor secuencia de sombra en la etapa de aclimatación de las plantas clonadas de café variedad caturra fue la secuencia de sombra completa (SSI), es decir el proceso de aclimatación que paso por 80% de sombra + 50% de sombra + luz plena, esta generó la mayor longitud (22.24 mm) de planta y un promedio de 1.5 hojas axilares por planta.
- 7.2.** La frecuencia de riego que generó mayor longitud de planta (30.07 mm) y mayor producción de hojas axilares (2.25) en plantas clonadas de café variedad caturra fue la frecuencia de riego de tres veces por día (FRII) con una aplicación de 0.02 l/planta/día y 1.36 l/planta durante los 68 días de estudio.
- 7.3.** La frecuencia de riego dos (FRII) tuvo mayor crecimiento en longitud (30.07 mm) y mayor número de hojas axilares que los tratamientos testigos (FRIII) en ambas secuencias de sombra.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- 8.1.** Contemplar estudios de riego con otros rangos de frecuencias para optimizar el análisis de costos.
- 8.2.** Determinar el efecto de la incidencia de luz en la concentración de clorofila en las plantas de café.
- 8.3.** Determinar la calidad morfológica de planta con otros parámetros como el índice de esbeltez.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agrobanco (2007). Cultivo de café. Área de Desarrollo. Perú-Diciembre. pág. 19.
2. Alvarado, M. y Rojas, G (2007). El cultivo y beneficio del café. Universidad Nacional a Distancia (EUNED), San José, Costa Rica, 184 págs.
3. Alvares (2008). Efecto de dos sustratos y diferentes láminas de riego en la propagación de romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica, Vol. 11, No. 1, Jun., 2008, pp. 103-111.
4. Altamirano J. (2012), Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Honduras. Turrialba, Costa Rica.
5. Amancio, S., Rebordao, J. P. and Chaves, M. M. (1999). Improvement of acclimatization of micropropagated grapevine: Photosynthetic competence and carbon allocation. Plant Cell Tissue and Organ Culture 58: 31-37.
6. Augstburger, (2000). Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico café. Asociación Naturland - 1ª edición- Alemania. págs. 25.
7. Barros, R.S.; Wallace, J, S.; DA Matta, F.M.; Maestri, M. (1997). Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. In relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance, 54:65-72.
8. Benetti, Q.V.R.; Fahl, J.I; Carvalho, C.C. (1992). Variacao na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. Rev. Bras. Fisiol. Veg., 4(2):99- 105.
9. Benito J, (2011). Paquete tecnológico de manejo integrado del café. INIA Perú.

10. Carvalho, C, Fahl. J, Triveling, P, Queiroz-Vóltan, R. (1999). Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. *Rev. Bras. Fis. Veg.* vol. 11, p. 63-68
11. Carrillo A. (2004). Evaluación de diferentes sustratos en la aclimatación de VITRO-PLANTAS de banano en la fase de vivero, bajo condiciones de sombramiento. Universidad De San Carlos Guatemala. 80 págs.
12. Ciriaco M, (2012). Producción de café especial. Manual técnico. Lima 2012. 50 págs.
13. Clowes, M. ST. J.; ALLISON, J.C.S. (1983). The growth and development of lateral branches in the top, middle and bottom of pruned coffee trees in a hedgerow, Zimbabwe *J. Agric. Res.*, 21, 115.
14. Desco (2012), Centro de estudios y promoción de desarrollo. Producción de cafés especiales. Centro de estudios y Promoción de desarrollo. 50 págs.
15. Duicela y Corral (2006), producción de plantas clonales de café robusta. primera edición. Manta- Ecuador. págs. 21.
16. Enciso, (2005). El Riego. 13 págs.
17. Escobar, R. (2007). Manual de viveros. Proyecto Innova Chile – INFOR. Instituto Forestal, Concepción, Chile. 229p.
18. Etienne, H (1997), protocole d'acclimatation de plantules de caféiers produites "in vitro". Plantations, Recherche, Développement. Francia. 4 págs.
19. Fila, G., Ghashghaie, J., Hoarau, J. and Cornic, G. (1998). Photosynthesis, leaf conductance and water relations of *in vitro* cultured grapevine rootstock in relation to acclimatisation. *Physiologia Plantarum* 102 (3): 411-418.

20. Fundesyam, (2010). Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental. Guía para la innovación de la caficultura de lo Convencional a lo orgánico. San Salvador, El Salvador. 142 págs.
21. Fuentelsaz. (2009). Manual De Buenas Prácticas De Riego. España. 36 págs.
22. Heredia (2011). Guía técnica para el cultivo de café. instituto de café costa rica. primera edición. Costa Rica. Pág. 72.
23. Huertas L. (2008). El control ambiental en viveros: Humedad relativa. Perú. 3 págs.
24. INN (Instituto Nacional de Normalización, CL). 2005. NCH2957/0 Madera. Material de propagación de uso forestal. Parte 0: producción y comercialización. Santiago, Chile. INN (Instituto Nacional de Normalización). 13 p.
25. Jaramillo, R. (1994). Aspectos microclimáticos en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). Simposio Internacional sobre café adensado. Londrina, PR. Brasil. 28-31 Marzo, 1994.
26. Maestri, M.; Barros, R.S. (1981). Ecofisiología de cultivos tropicales. Café. PROMECAFE. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 50 p.
27. Marín G. (2012). Producción de café especial. Manual técnico 46 pg. Lima-Perú.
28. Marschner (2002). Mineral nutrition of higher plants., 2a ed., London., Academic Press., 2002, pp. 889.
29. Martínez G, MV Lencinas, PL Peri, M Arena. (2007). Photosyn- thetic plasticity of *Nothofagus pumilio* seedlings to light intensity and soil moisture. Forest Ecology and Management 243(2-3): 274-282.



30. Martínez R. Aspiroz H. Rodríguez J. (2005), Aclimatación de plantas obtenidas *in vitro* de *Eucalyptus urophylla* S. y *Eucalyptus grandis*. Vol. 1-septiembre. México 8 págs.
31. Ministerio de Agricultura y Riego (2024), Origen y distribución geográfica del cafeto. Perú.
32. Mora, (2008). Clasificación taxonómica de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Enero.
33. Morales, D.; Torres, W.; Del'Amico, J. (1986). The growth of coffee seedlings in beds at full sunlight and regulated shade under three moisture levels, Colloque ASIC, Lomé, 11, 549.
34. Montserrat, (2005). Sistemas de riego para uso en vivero. 6 págs.
35. Napoleón y Cruz. (2005), Guía Técnica De Semilleros Y Viveros. Primera Edición. Santa Tecla, El Salvador. 40 págs.
36. Ordoñez M, (2000). Producción de semilleros y viveros. Guatemala, Capítulo 4. págs. 13.
37. Piña M. (2010), Efecto de dos ambientes luminicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de (*Crescentia cujete*). Bioagro. Venezuela. 6 pgs
38. Roben, N. (1996). Atenuación de la radiación solar en un cafetal a la sombra. Tesis de Diploma. Universidad de Oriente.
39. Rodríguez. (2002), Efecto eco-fisiológico de diferentes niveles de irradiancia en la productividad biológica y agrícola del cafeto (*Coffea arabica* L.) en ecosistemas típicos de la Sierra Maestra. La Habana. págs. 124.
40. Santelices Y Navarro (2011). Efecto de la cobertura y de la fertilización en el desarrollo de plantas de *Nothofagus alessandrii* cultivadas en contenedor.

41. Taiz L, E Zeiger. (2006). Plant physiology. 4 edition. Sunderland, MA, USA. Sinauer Associates. 764 p.
42. Villar-Salvador P. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. *In* Rey-Benayas JM, T Espigares-Pinilla, JM Nicolau-Ibarra eds. Restauración de ecosistemas mediterráneos. Alcalá de Henares, España. Universidad de Alcalá. p. 65-86.
43. Went, F.W. (1957). The experimental control of plant growth. New York, The Ronald Press, Chronica Botanica. An International Biological and Agricultural Series, 17. 164- 168.
44. Whatley, J. (1982). A luz e a vida das plantas. São Paulo, Editora Pedagógica e universitária, EDUSP, 102 p.

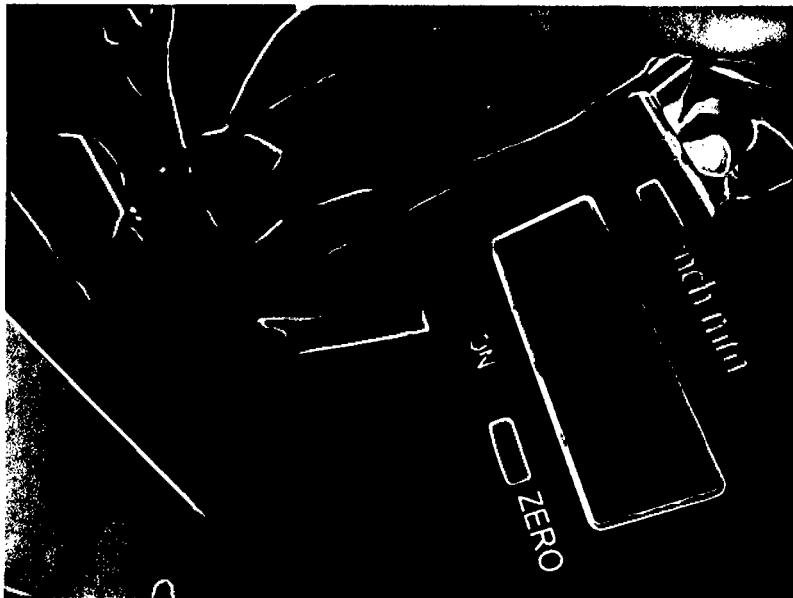
## ANEXOS



**Imagen 6. Sistema de riego tecnificado.**



**Imagen 7. Tratamiento cubierto mientras se riega.**

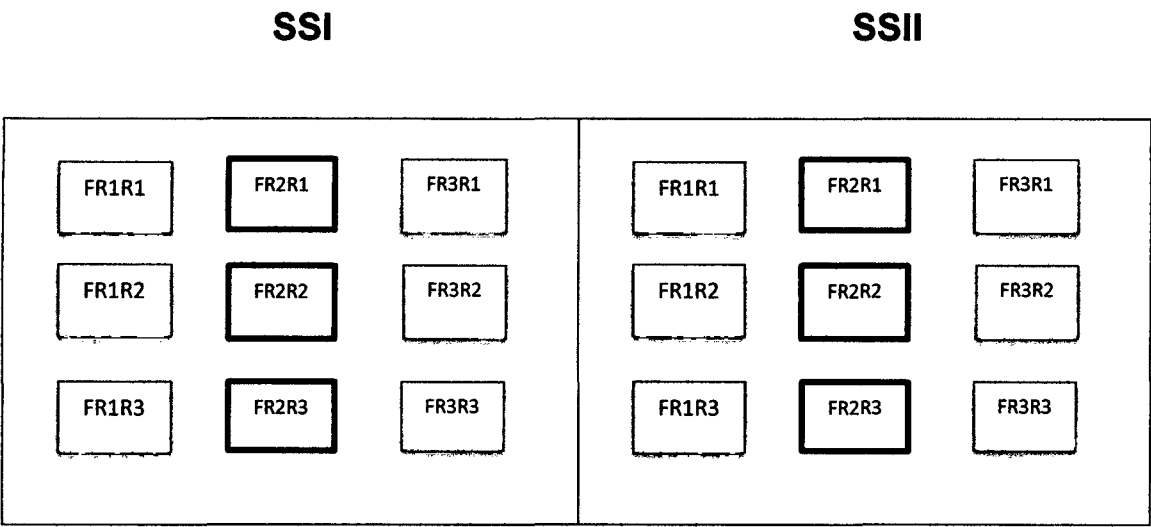


**Imagen 8: Evaluando el diámetro por planta.**

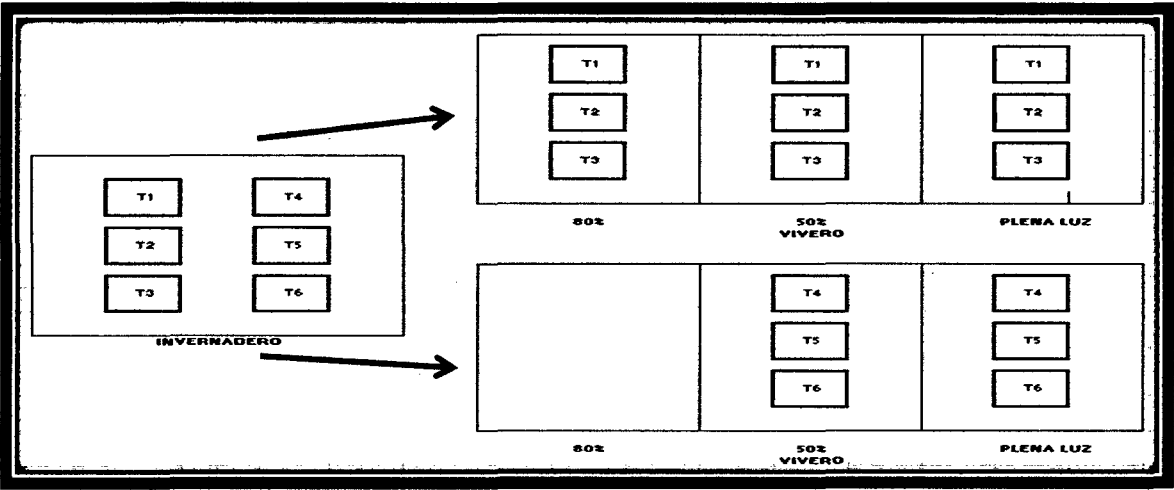


**Imagen 8: Evaluando el tamaño por planta.**

1. Grafico 23. Croquis del diseño experimental



2. Grafico 24. Distribución de los tratamientos



### 3. Modelo matemático

1.1. Segura (2000), menciona para DCA aleatorios, con arreglo factorial de  $2 \times 3$ :

$$Y_{ijl} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijl}.$$

Dónde:

$Y_{ijl}$  : la respuesta de la variable aleatoria al  $i$ -ésimo nivel del factor A y  $j$ -ésimo nivel del factor B,

$\mu$  : una media general para los datos poblacionales del experimento completo,

$A_i$  : el efecto que produce el  $i$ -ésimo nivel del factor A,

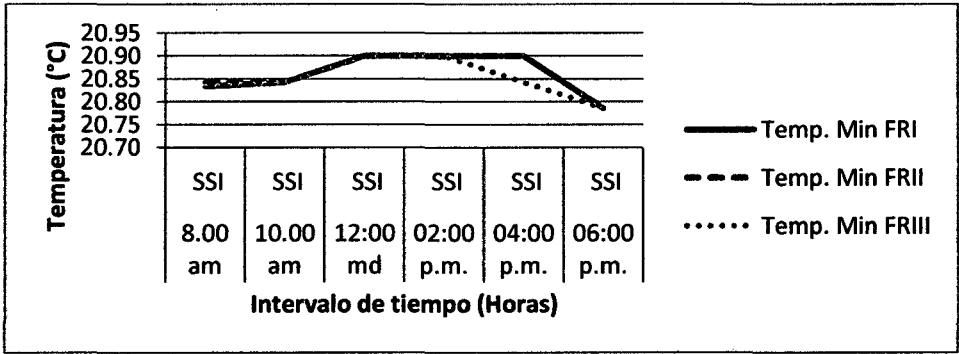
$B_j$  : el efecto que produce el  $j$ -ésimo nivel del factor B

$(AB)_{ij}$  : el efecto adicional de la interacción para la combinación del  $j$ -ésimo nivel del factor A con el  $i$ -ésimo nivel del factor B, y la  $i$ -ésima repetición.

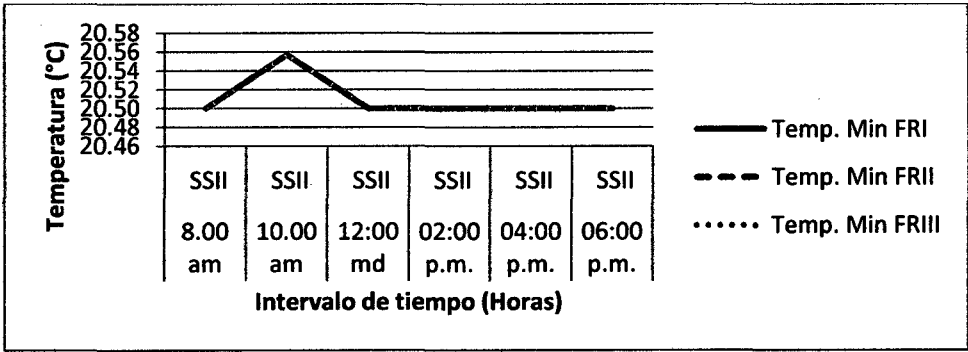
$\varepsilon_{ijl}$  : es el error experimental asociado a la observación  $ijl$ -ésima que como siempre los errores se suponen normales, independientes, con esperanza cero y varianza común.

4. Gráficos de la Temperatura mínima por frecuencia de riego

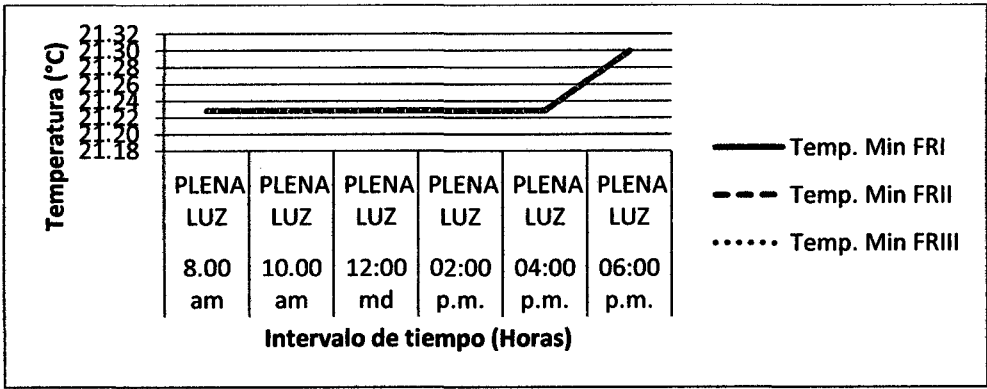
4.1. Temperatura mínima al 80% se sombra



4.2. Temperatura mínima al 50% se sombra

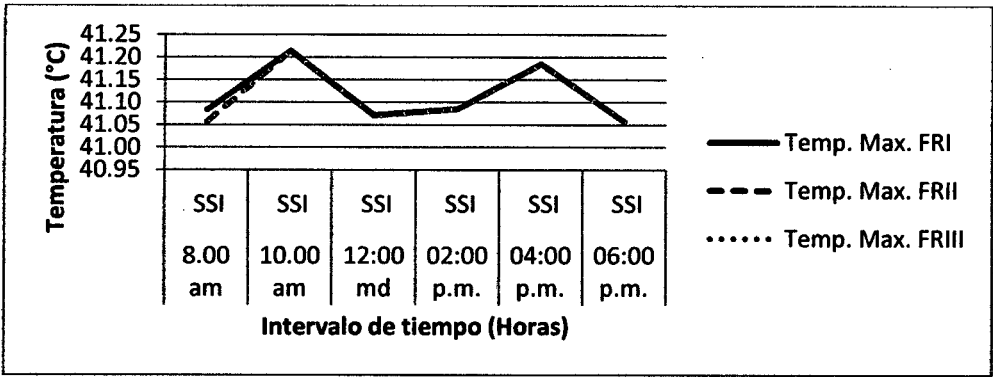


4.3. Temperatura mínima a plena luz

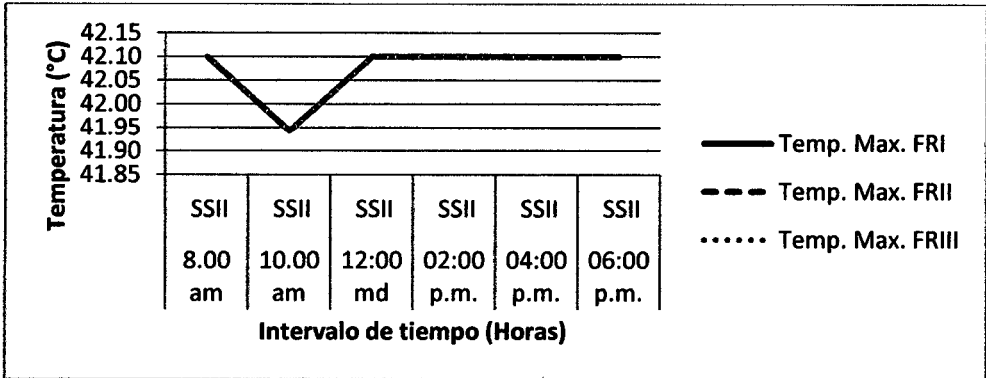


5. Gráficos de la Temperatura mínima por frecuencia de riego

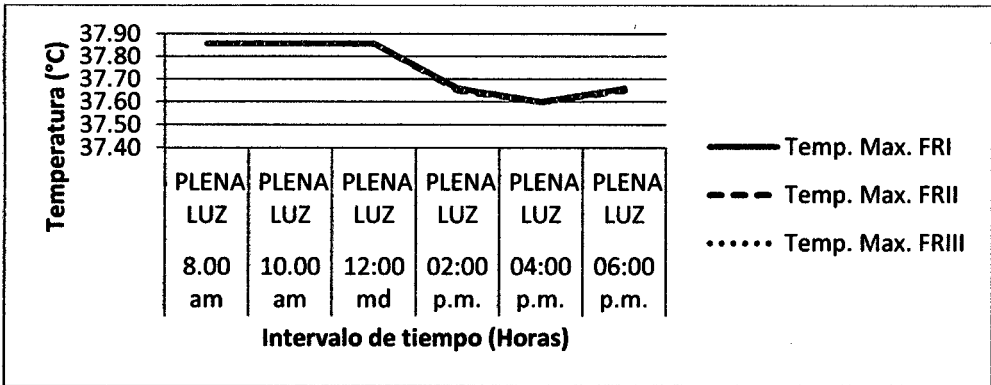
5.1. Gráfico de temperatura máxima al 80% de sombra



5.2. Gráfico de temperatura máxima al 50% de sombra



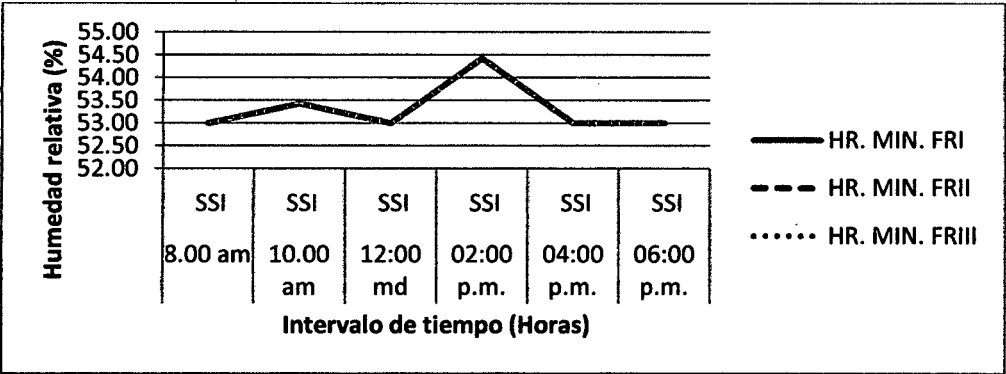
5.3. Temperatura máxima a plena luz.



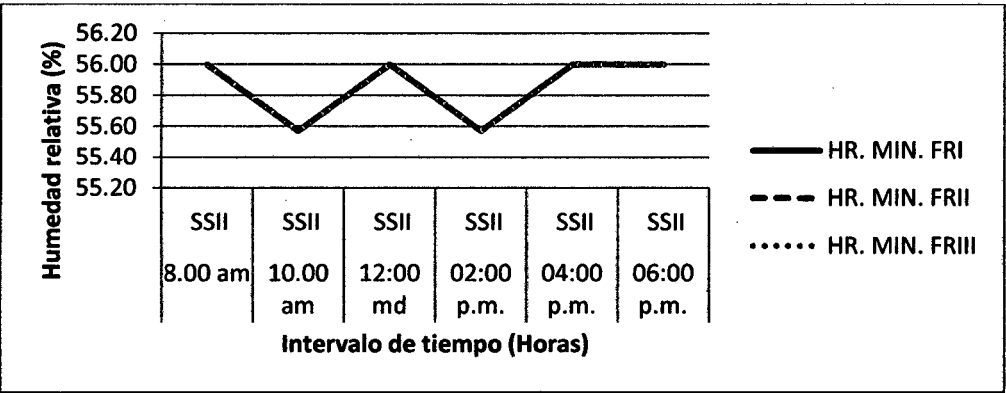


6. Gráficos de la humedad relativa mínima por frecuencia de riego

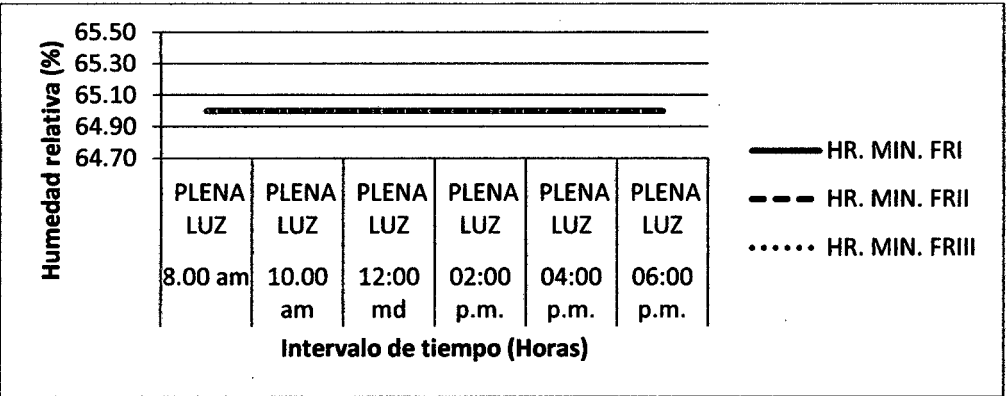
6.1. Gráfico de la humedad relativa mínima al 80% de sombra



6.2. Gráfico de la humedad relativa mínima al 50% de sombra

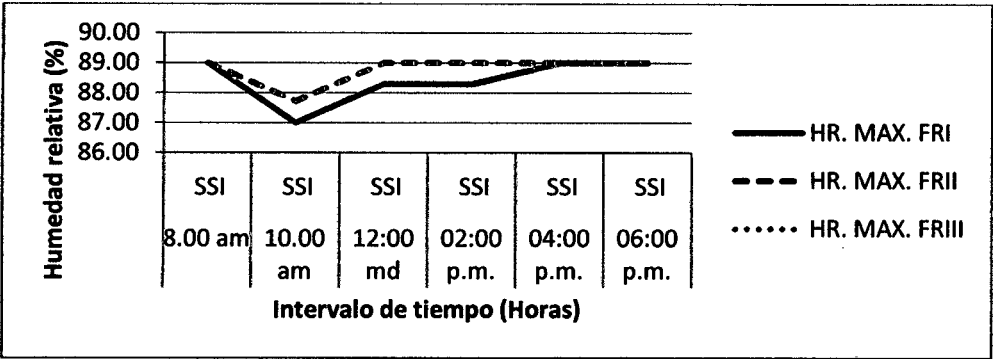


6.3. Gráfico de la humedad relativa mínima a plena luz

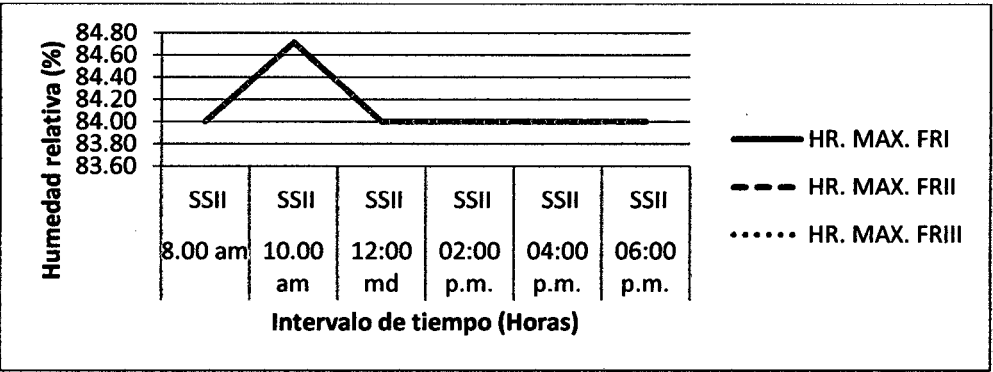


7. Gráficos de la humedad relativa máxima por frecuencia de riego

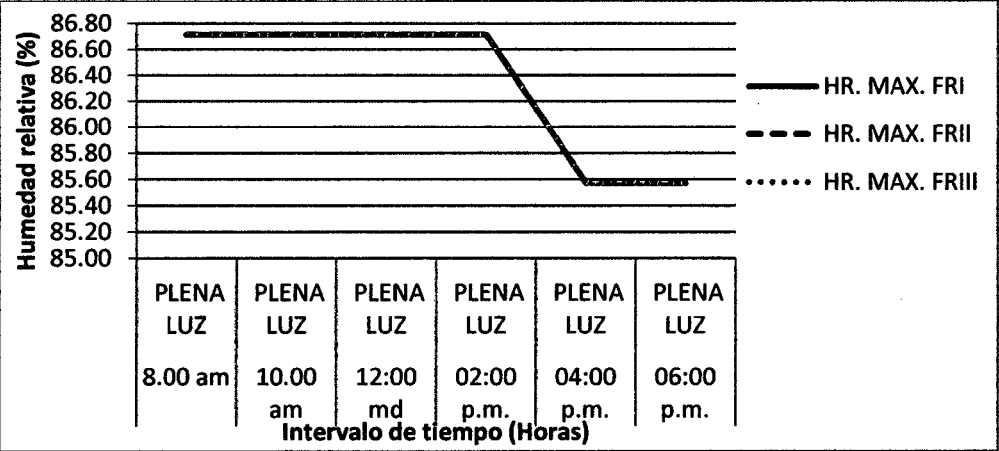
7.1. Gráfico de la humedad relativa máxima al 80% de sombra



7.2. Gráfico de la humedad relativa máxima al 50% de sombra



7.3. Gráfico de la humedad relativa máxima a plena luz



8. Cuadro 08. Costos para la frecuencia de riego uno (6veces/día)

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>200,52</b>
MANO DE OBRA	108,9
INSUMOS	32,7896
MATERIALES	58,8341667
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>0,0044</b>
Servicio de agua y luz	0,00442
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>200,53</b>
costo total por planta	2,78511

9. Cuadro 09. Costos para la frecuencia de riego dos (3veces/día)

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>200,523767</b>
MANO DE OBRA	108,9
INSUMOS	32,7896
MATERIALES	58,8341667
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>0,00221</b>
Servicio de agua y luz	0,00221
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>200,525977</b>
costo total por planta	2,78508

10. Cuadro 10. Costos para la frecuencia de riego tres (2veces/día).

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>200,523767</b>
MANO DE OBRA	108,9
INSUMOS	32,7896
MATERIALES	58,8341667
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>0,00147333</b>
Servicio de agua y luz	0,00147333
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>200,52524</b>
costo total por planta	2,78507

## 11. Cuadro 11. Costos de los materiales para el trabajo de investigación.

Rubro	Unidad	Cantidad	Prec. Unit s/.	Costo. Total s/.	Sub. Total
<b>Materiales de campo</b>					<b>5392.12</b>
Machete	Unid.	2	12.00	24.00	
Esponja	Unid.	2	20.00	40.00	
Balde	Unid.	2	10.00	20.00	
Regla graduada de 30 cm.	Unid.	1	12	12.00	
Etiquetas	Ciento	2	20.00	40.00	
Vernier	Unid.	1	160.00	160.00	
Microaspersores	Unid.	14	17.79	249.06	
Nebulizadores	Unid.	14	17.79	249.06	
Libreta de apuntes	Unid.	2	3.50	7.00	
Lápiz Mongol	Caja	1	8.00	8.00	
Tablero acrílico Artesco	Unid.	1	12.00	12.00	
Sustrato (Arena)	m3	1	35.00	35.00	
Sustrato (suelo)	m3	1	35.00	35.00	
Carretilla	Unid.	1	120.00	120.00	
Bolsas	Ciento	1	0.7	0.7	
Malla metálica 4 mm	Metros	5	5.00	25.00	
Malla sombra negra 80% (4,2X100 m)	Rollo	1	556.80	556.80	
Manguera	Rollo	1	50.00	50.00	
Pala recta	Unid.	1	30.00	30.00	
Hilo Nylon	Rollo	1	20.00	20.00	
Wincha 50 m.	Unid.	1	35.00	35.00	
Mochila aspersor 2 L	Unid.	1	100.00	100.00	
Termohigrómetro digital	Unid.	1	992.00	992.00	
Luxómetro digital	unid	1	77	77	
Termómetro digital	Unid	1	2414.5	2414.5	
Fungicida	Unid.	1	80.00	80.00	
<b>Materiales de laboratorio</b>					<b>9229.5</b>
Balanza analítica	Unid.	1	9000	9000.00	
Probeta graduada	Unid.	1	136.00	136.00	
Alcohol 96°	Litro	2	12.00	24.00	
Vaso de presipitado de 250	Unid.	3	16.00	48.00	